



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사 학위논문

지속가능한 사회를 위한 공단별 지정폐기물 관리의 평가

Sustainability Evaluation of Specified Waste
Management of Industrial Complexes using A
6-Indicator System

2020년 8월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과

권유선

지속가능한 사회를 위한 공단별 지정폐기물 관리의 평가

지도교수 이 동 수

이 논문을 도시계획학 석사 학위논문으로 제출함
2020년 7월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과
권유선

권유선의 석사 학위논문을 인준함
2020년 7월

위 원 장 _____ 오능환 (인)

부위원장 _____ 정수종 (인)

위 원 _____ 이동수 (인)

초 록

대량 생산과 소비 패턴으로 폐기물이 대규모 발생하여 지속가능한 발전을 위해서는 폐기물 관리의 지속가능성을 탐구하는 것이 필요하다. 특히 유해폐기물은 그 유해성 때문에 별도 관리가 필요하나 이 부분에 지속가능한 관리에 대한 관심은 부족하다. 유해폐기물인 지정폐기물에 대한 연구는 더더욱 부족한 실정이다. 이에 지정폐기물을 대상으로 하여 폐기물 관리가 지속가능하게 이루어지는지를 판단하기 위해 지표 평가의 장점을 활용하여 지표적 접근을 취했다. 구체적으로 6가지 지정폐기물의 지속가능성 지표를 개발하여 12개 공단별 지정폐기물이 2009~2018년 동안 지속가능한 방향으로 관리되었는지를 판단하는 연구를 수행하였다. 자원순환 관점에서 발생량이 억제되고 있는지 확인하는 지표(자원순환1)와 재활용이 증가되는지를 명백히 보여주는 지표(자원순환2)를 확립하였으며 환경관점에서 지정폐기물에 의한 온실가스가 주는 환경영향의 정도를 파악하는 지표(환경영향1)를 도입하였다. 온실가스 관리능력이 확보되고 있는 공단들을 분별하는 지표(환경영향2)와 재활용, 소각과 매립을 포괄하는 처리능력이 지속가능한 방향으로 가는지 판단하는 지표(환경영향3)를 도출하였다. 그리고 경제적 관점을 반영하는 지표(경제1)를 도입하여 지정폐기물의 경제적 지속가능성을 판단하였다.

지표별로 시간에 따른 추세를 분석한 결과, 경향성이 없어서 지속가능성의 개선여부를 파악하기 어려운 경우도 있었지만 10개년도 회귀분석에서 환경영향1 지표가 대체적으로 악화상태인 것으로 나타났다. 환경영향3 지표가 후반부 5개년도에서 개선되는 공단이 많은 편이다. 또한 경제

적인 관점에서 역시 대체적으로 악화되어 12개 공단의 지정폐기물 관리의 지속가능성을 향상시키기 위해서는 본 경제성지표의 개선이 필요한 것이 명백하다.

공단의 지표 간 분석을 실시하였다. 10개년도 유형별로 파악하자면 자원순환1 지표가 높은 공단은 광양, 군산, 구미로 철강과 전자계열이었다. 환경영향3 지표와 자원순환2 지표가 낮은 공단은 남동과 온산공단으로 화학, 중공업 계열이었다. 경제 지표가 높고 환경영향1 지표가 낮은 공단은 여수, 울산으로 중화학 계열이었다. 환경영향1 지표가 높고 경제 지표가 낮은 공단은 녹산, 아산으로 중공업, 전자계열이었다. 환경영향1 지표가 높고 경제 지표가 높은 공단은 창원과 구미로 기계, 전자 계열이었다.

전체적으로 공단 간 평가 지표로 파악한 관리의 지속가능성은 일부 공단은 흡사했지만 전반적으로 다양하게 나타났다. 이에 따라 지속가능성 개선 목표를 확립하여 공단들이 지정폐기물 관리의 개선을 주도하도록 정책 수립이 이루어져야 할 것이다. 공단자체에서 지정폐기물 지속가능성을 제고하도록 유인정책과 강력한 규제 정책이 병행되어야 할 것이다. 이로서 궁극적으로 지속가능성을 높이기 위한 실마리를 찾을 수 있을 것으로 기대한다.

주요어: 지정폐기물 지속가능성 평가, 공단 지정폐기물 지속가능성 평가, 지정폐기물, 지속가능성 지표, 지속가능성 평가, 지속가능성 지표 평가

학번: 2016-24817

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 내용과 배경	1
2. 연구의 목적	2
3. 연구의 대상	4
4. 연구의 방법	7
1) 자료 수집	7
2) 자료 분석	8
II. 이론적 배경과 선행연구 고찰	10
1. 개념정의	10
1) 지정폐기물	10
2) 지표의 개념 설명	12
2. 선행연구 고찰	17
1) 폐기물 지속가능성 지표 연구	17
2) 연구의 차별성	22
III. 지속가능성 평가지표 체계 구성	24
1. 배경	24
2. 자원순환 평가지표	27
1) 발생량감축률	27
2) 재활용량/소각·매립량	28
3. 환경영향 평가지표	30
1) 온실가스 총 배출량	30
2) 처리량 당 온실가스 배출량	36
3) 폐기물 처리능력	37

4. 경제성 평가지표	39
1) GDP당 폐기물 발생량	39
5. 선정된 지표 평가	41
 IV. 결과	 43
1. 시계열 변화 추세	43
1) 공단별 시계열 분석	43
2) 소결	52
2. 공단별 지표 간의 비교	54
1) 공단의 지표 간 비교	58
2) 소결	63
3. 공단 간 지표 비교	64
1) 발생량감축률	66
2) 재활용량/소각·매립량	69
3) 1/소각·매립온실가스배출량	72
4) 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량	75
5) 발생량/이월기타보관량	78
6) 총생산액/발생량	81
7) 소결	86
4. 공단 간 우선순위	87
 V. 결론	 92
1. 연구의 결과	92
2. 향후연구방향과 한계점	94
 참고문헌	 95
Abstract	110

표 목 차

[표 1-1] 12개의 공단별 특징	5
[표 1-2] 공단별 주요 업종	7
[표 2-1] 지정폐기물 종류	11
[표 2-2] OECD 지표 선정 기준	16
[표 2-3] UNCSD 지표 선정 기준	16
[표 2-4] 국가 지속가능 발전 위원회 지표 선정 기준	16
[표 3-1] 지정폐기물 매립부분 성상별 변수 값	33
[표 3-2] 지정폐기물 소각부분 성상별 변수 값	34
[표 3-3] 성상별 배출계수	35
[표 3-4] 지표 체계	40
[표 4-1] 10년간 시계열 분석 결과	44
[표 4-2] 전반기 5년간 시계열 분석 결과	47
[표 4-3] 후반기 5년간 시계열 분석 결과	49
[표 4-4] 정규화된 지표의 공단별 평균	54
[표 4-5] 공단별 발생량감축률	66
[표 4-6] 지표별 공단 순위	67
[표 4-7] 공단별 재활용량/소각·매립량	69
[표 4-8] 공단별 1/소각·매립온실가스배출량	72
[표 4-9] 공단별 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량	75
[표 4-10] 공단별 발생량/이월기타보관량	78
[표 4-11] 공단별 총생산액/발생량	81
[표 4-12] percentage position과 garrett 점수 산정	88
[표 4-13] garrett 순위 변환 표	89
[표 4-14] 공단의 지표별 순위	90
[표 4-15] 공단 통합 순위	91

그림 목 차

[그림 1-1] 지정폐기물 발생량 추이	3
[그림 1-2] 연구개요	9
[그림 3-1] 지표 체계	26
[그림 4-1] 공단별 지표 특성	57
[그림 4-2] 공단별 지표 간 비율	61
[그림 4-3] 공단별 재활용량/소각·매립량	70
[그림 4-4] 공단별 1/소각·매립온실가스배출량	73
[그림 4-5] 공단별 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량	76
[그림 4-6] 공단별 발생량/이월기타보관량	79
[그림 4-7] 공단별 총생산액/발생량	82
[그림 4-8] 지표 별 공단 간 세 기간 비교	84

I. 서론

1. 연구 내용과 배경

지속가능한 발전은 1987년 brundtland 보고서 “Our Common Future”에서 “미래세대가 필요를 충족할 능력을 훼손 하지 않으면서 현재의 필요를 충족하는 발전” 이라고 지속가능성의 정의를 확립하면서 보편화되었다. 이에 지속가능한 발전과 자원순환형 사회 확립의 키워드가 전반적인 정책기조로 자리매김했다. 따라서 자원화 잠재력이 있는 폐기물 관리가 지속가능성 측면에서 중요성을 띄게 되었다. 이에 폐기물 관리는 청소개념에서 벗어나 적정처리 수준에 머물러 있던 폐기물을 재활용하거나 재자원화를 적극적으로 모색하는 관리형태로 전환하고 있다(박래, 2004; 조수준 2002). 자원의 효율적 활용으로 자원 집약도를 낮추고 폐자원의 비용효과를 고려하여 폐기물을 예방하고 자원화를 통해 환경문제를 최소화하는 지속가능 폐기물 실천전략이 관리의 핵심이 되었다.

일반폐기물과는 달리 유해 폐기물은 그 위해성으로 환경과 보건에 큰 영향을 끼치므로 미래에도 유해 폐기물에 대한 악영향을 최소화하면서 안전하게 관리가 되는 체계를 확립시킬 필요가 있다(Stasiskiene, 2011). 현재 우리나라의 유해폐기물 관리는 지정폐기물을 중심으로 이루어지며 지정폐기물은 국가차원에서 별도로 관리하고 있다. 지정폐기물은 “사업장폐기물 중 폐유, 폐산 등 주변 환경을 오염시킬 수 있거나 의료폐기물 등 인체에 위해를 줄 수 있는 해로운 물질로서 대통령령으로 정하는 폐기물”로 정의되어 있다

그러나 지정 폐기물이 사회의 지속가능성 개념에 부합하는 관리가 이루어

어지는 지를 탐구하는 논문은 부족한 상태로서 평가체계와 평가 틀 확립이 필요한 실정이다. 따라서 유해폐기물 중에서도 국가차원에서 관리하는 지정폐기물 관리에 대한 지속가능성을 분석하고 평가하는 것은 대단히 시급한 연구 과제라고 할 수 있다.

지표는 간단한 프레임으로 다각적인 관점에서 현상을 다룰 수 있는 가장 대표적인 도구이다. 지속가능성의 지표는 환경, 사회, 경제라는 세 개의 큰 축을 아울러 현상을 분석하는 데에 매우 유용한 수단이 될 수 있다(Stasiskiene, 2011). 더 나아가 지표는 현상을 정량화하기 위한 대표적인 도구로서 지표 통합과정을 통해 점수를 산출하는 분석을 하기에 매우 적합하다고 할 수 있다. 이에 지표를 이용한 접근법을 사용하려고 한다.

2. 연구의 목적

본 연구는 지정폐기물 관리가 지속가능한 방향으로 발전하는 지 지속가능성 평가 지표를 개발하고 도입하여 주요 공단을 대상으로 평가하는 것을 목적으로 한다.

공단의 지정폐기물의 관리의 지속가능성을 탐구해야 되는 이유는 제조업을 아우르는 산업단지 차원에서의 생산 활동이 증가하면서 발생하는 지정폐기물이 필연적으로 더 많아지고 있다는 사실이다(그림 1-1). 이러한 문제의식에 바탕을 두고, 본 연구에서는 국내 공단에서 배출되는 사업장 지정폐기물에 초점을 맞추어, 지정폐기물 관리의 지속가능성 수준을 평가할 수 있는 지표를 수립하려한다. 또한 지표를 적용하여 지속가능성 평가를 실시함으로써, 지정폐기물 관리의 실태와 문제점을 파악하려 한다. 이승희(2002)는 지표적 접근의 유용성을 고려하여 현황 평가에

지표의 사용을 강력히 권고하고 있다. 이에 본 연구의 목적은 2009~2018년 동안 연간 의료 폐기물을 제외한 사업장 지정폐기물 발생량이 50,000톤/년 이상인 12개의 국가산업단지의 지정폐기물의 관리가 지속가능한 방향으로 이루어졌는지를 지표를 통해서 실질적으로 평가하려 한다. 또한 지표를 통합하여 공단의 순위를 도출하여 지속가능성이 수준이 어떠한지 판단하려 한다.

이상과 같은 논의를 종합하면, 본 연구의 연구 질문은 다음과 같다.

첫째. 지정폐기물의 지속가능성을 평가하기 위한 지표 개발 및 구성은 어떻게 이루어져야 하는가?

둘째. 지속가능성 지표에 따라 국내 주요공단의 지속가능성은 어떠한 변화추이를 보이는가?

셋째, 지정폐기물 지속가능성의 특성은 공단 간 어떻게 다른가?



전체 지정폐기물 발생량 변화추이

그림 1-1. 지정폐기물 발생량 추이 (환경공단 지정폐기물 발생 현황, 2018)

3. 연구 대상

연구대상은 전국의 50,000톤/년 이상의 사업장 지정폐기물을 배출하는 국가산업단지를 기준으로 남동, 여수, 울산, 녹산, 군산, 창원, 구미, 아산, 포항, 반월, 광양, 온산 등의 12개의 국가산업단지공단을 선정하였다. 국가산업단지는 건교부에서 국가기간산업, 첨단과학기술산업을 육성하며 산업입지개발법률에 의거하여 지정된 공업단지로서 개발을 촉진할 필요성이 있는 낙후지역을 대상으로 하여 국토부장관이 지정하는 산업단지이다. 각 공단의 주요 특성을 (표 1-1)에 간단히 요약하였다.

표 1-1. 12개의 공단별 특징(한국산업단지공단, www.kicox.or.kr)

공단 명	지정면적	업체수	소재지	세부특징
남동 공단	9574천m ³	6784개	인천광역시 남동구	수도권 지역 내 용도를 위반한 업체들을 수도권지역에 공업산업을 다시 배치하기 위해서 이전하여 조성한 단지이다.
여수 공단	51229천m ³	299개	전라남도 여수	1960년대 중반 대규모 임해 공단으로 개발에 착수하여 중화학공업을 육성하는 정책의 일환으로서 석유화학공업을 수용하여 조성되었다.
울산 공단	48444천m ³	878개	울산광역시 남구, 북구	근대화의 물결에 따라 공업산업도입을 위해 제 1차 경제개발 5개년 계획을 핵심으로 하여 국가차원에서 장려된 최초의 공단이다.
녹산 공단	8841천m ³	1636개	부산광역시 강서구	부산의 기간산업의 산업 기반을 강화하여 지역 경제의 활성화를 목표로 조성된 산단이다.
군산 공단	50459천m ³	559개	전라북도 군산시	서해안 개발을 위한 전진 기지를 구축하는 것과 함께 국토 발전의 균형을 이룩하려는 목표로 개발되었다.
창원 공단	35870천m ³	2787개	경상남도 창원시	70년대 중후반부터 기계공업을 전문으로 하는 공업단지를 목표로 조성되었다. 한국 기계공업의 요체이며 국내 중화학 공업이 발전할 수 있는 기반을 조성하였다.

구미 공단	10223천m ³	2393개	경상북도 구미시, 칠곡군	전자공업을 핵심 산업으로 삼아 기술을 집약시키고 전문화하며 계열화를 추진하여 신기술을 개발하고 제품을 고급화하여 전자공업의 경쟁력 강화를 목표로 하여 개발되었다.
아산 공단	20193천m ³	272개	경기도 평택시, 충청남도 당진군	대규모의 산업기지 개발에 착수하여 개발구역으로 선정되었고 1970년대 말에 종합 제철단지의 개발에 착수하여 조성되었다.
포항 공단	37868천m ³	106개	경상북도 포항시	철강 산업을 대규모로 육성하고 연관 산업을 유치할 통해 핵심적인 화학 산업단지로의 개발에 착수하여 조성되었다.
반월 공단	150079천m ³	19673개	경기도 안산시, 시흥시	수도권에 집약적으로 공장들이 산재해 있는 문제를 해결하고 인구와 산업 배치를 통해 수도권의 성장이 균형 있게 이루어지는 것을 목표로 조성되었다.
광양 공단	96405천m ³	156개	전라남도 광양시	광양 제철소의 건립을 통해 제철 연관 산업의 육성을 목표로 하여 조성되었다.
온산 공단	25939천m ³	342개	울산광역시 울주군	70년대 중후반 비철금속업종을 포섭하여 중화학공업을 육성하려 조성되었다.

(표 1-2)에 공단별 주요 업종을 소개한다.

표1-2. 공단별 주요 업종 (한국산업단지공단, www.kicox.or.kr)

공단 명	업종
남동 공단	기계기업, 석유화학
여수 공단	종합석유화학공업기지.
울산 공단	중공업, 자동차, 화학
녹산 공단	중공업
군산 공단	기계, 철강, 석유
창원 공단	기계
구미 공단	전자
아산 공단	전자
포항 공단	철강
반월 공단	연탄, 시멘트, 레미콘, 아스팔트등 포장재료
광양 공단	철강
온산 공단	중화학

아산공단의 경우 평택시와 충남 당진시에 소재하나 충남 당진시는 데이터 확보가 어려웠다. 따라서 아산국가산업단지는 평택시에 소재한 산단을 기준으로 분석·평가 하였다. 반월공단은 안산시와 시흥시의 산업단지를 통합한 반월특수지역 정보를 기준으로 분석하였다.

4. 연구 방법

1) 자료 수집

자원순환정보시스템 (<https://www.recycling-info.or.kr>)에서 2003년부터 매해 시군구 공단지역의 지정폐기물 발생 및 처리현황 엑셀 자료를 제공하여 공단지역의 지정폐기물의 기초통계량인 이월량, 발생량, 소각량, 매립량, 재활용량, 기타, 보관량 정보를 공시하고 있다. 제공되는 가장 최근 시점인 2018년도를 대상 기간의 종점으로 삼아 이를 기준으로 10개년도

의 기초 통계량 데이터를 확보하였다.

통계청(www.kostat.go.kr)과 한국산업단지관리공단(www.kicox.or.kr)에서 공단별 총 생산액의 당해 연도 누계 데이터를 확보했다. 지정폐기물의 소각과 매립 양에 의해 발생하는 온실가스를 추정하고자 환경부의 국가 온실가스 통계 산정보고 검증 지침을 참조하여 배출계수 및 변수와 수식을 확보하였다. IPCC 1996 가이드라인의 tier1 방법론을 채택하여 지정폐기물 매립에서 나오는 온실가스 산정 방법론으로 삼았으며 소각은 IPCC 2006 GL Tier2b의 산정식을 적용하였다.

2) 자료 분석

지정폐기물 관리실태와 관련된 지속가능성 평가 분석을 실시하였다. 지속가능성 평가지표는 변화추세를 반영하여 정책적 시사점을 도출하는 데 유용하다. 또한 균형적인 발전전략을 모색할 때 국가와 지역 단위를 포괄하는 관리의 수준을 평가하는 데 효과적이다(이효정, 2011). 이러한 평가지표 분석은 기존 선행연구를 토대로 하여 지정폐기물의 관리의 지속가능성의 차원을 자원순환, 경제, 환경 등 3가지로 구분하여 자원순환지표 2개, 경제지표 1개, 환경지표 3개를 수립한 뒤, 본 분석에 적용하였다. 일반적으로 지속가능성의 차원은 경제, 환경, 사회로 분류되지만 사회적 차원의 평가를 위한 자료의 부재로 분석에 포함시키지 못했다. 대신에 전 세계적으로 폐기물 관리에서 핵심요인으로 간주되고 있는 자원순환 관점을 도입했다. 이미 1990년부터 선진국에서 자원순환사회 건설을 추구하는 방법론에 대한 논의가 있었으며 우리나라에서도 자원순환 개념은 폐기물 관리를 넘어 자원고갈과 개발을 막아 지속가능성을 담보하는데

일조하고 있다. (정희성, 2008).

지표별 공단의 시계열 추세를 회귀분석 하였고 공단의 지표 간 비교를 실시하였다. 그다음 지표별로 12개 공단의 지정폐기물 관리에 있어서 지속가능성의 수준을 평가하기 위하여 6개 평가지표별 공단 간 비교를 실시하였다. 각 분석항목별로 공단 간 비교분석을 수행하여, 순위를 검정할 수 있는 통계분석방법을 채택하였다. 기술통계량을 분석하고 지표별로 어느 공단이 우위를 점하고 있는지를 알 수 있도록 지표별 공단의 평균 값 그래프를 통해 시각화를 시도하였다. 분석의 체계성을 확보하기 위해 SPSS v.21.0을 사용하여 통계분석 방법을 적용하였다. 지표별 통계량의 유의성을 검증하기 위해 Kruskal Wallis 비모수 검정 통계를 적용했다. 또한 최종적으로 Henry Garrett ranking 방법으로 평가지표를 통합하여 공단의 순위를 도출하여 공단 간 지속가능성의 수준을 평가했다. (그림 1-2)

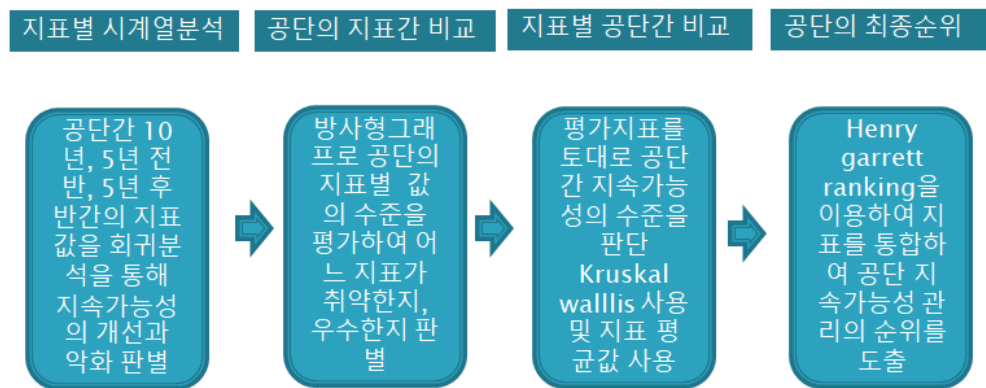


그림 1-2. 연구개요

II. 이론적 배경과 선행연구 고찰

1. 개념정의

1) 지정폐기물

지정폐기물은 ‘사업장폐기물 중 폐유·폐산 등 주변 환경을 오염시킬 수 있거나 의료 폐기물 등 인체에 위해를 줄 수 있는 해로운 물질’로서 대통령령으로 정하는 폐기물이다. 본 연구에서는 의료폐기물을 제외한 사업장지정폐기물을 연구대상으로 한다. 지정폐기물은 대통령령으로 정하며 일반 생활 폐기물이나 건설폐기물과 달리 별도로 환경부가 아닌 국가 차원에서 관리하는 이유는 매우 유해한 폐기물로서 보건과 환경에 막대한 피해를 줄 수 있어 특별 관리가 필요하기 때문이다. 지정폐기물의 종류는 (표 2-1)과 같다.

표 2-1. 지정폐기물 종류(지정폐기물 종류, 올바로시스템, 2010)

지정폐기물 종류		성상	비고
폐 유		액상 고상	기름성분 5% 이상의 것에 한함
폐합성 고분자화합물	폐합성수지		제조공정에서 발생하는 것에 한한다.
	폐합성고무		
페 페인트 폐락카			성분분석제외 지정폐기물
부식성 폐기물	폐 산		수소이온농도(ph)2.00이하
	폐알칼리		수소이온농도(ph)12.50이상
유기용제	할로겐족유기용제		폐기물관리법 시행규칙 "별표1"의 유해물질 함량 이 기준치 이상인것에 한함
	비할로겐족유기용제		
폐 석 면			
폴리크로네이티드비페닐합유폐기물			
폐 농 약			
유해물질합유폐기물	광재, 분진		
	폐주물사 및 샌드블라스트사		
	폐내화물 및 도자기조각		
	소각재		
	안정화물 및 고형화처리물		
	폐흡착제, 폐흡수제, 폐촉매		
	오니류(폐수처리오니/공정오니)		

현재 우리나라의 지정폐기물 관리의 범위는 발생, 수집 및 운반, 처리로 크게 구분되고, 현행법에 따라 발생원, 구성성분, 유해성 등을 고려하여 대분류 11종, 중분류 35종, 소분류 95종으로 되어있으며 지정폐기물의 종류를 세분화하여 관리하고 있다 (김성우, 2017). 1999년 지정폐기물 처리 경로에 대한 투명성을 제고하기 위해 지정폐기물 배출자 스스로 적정처리 했음을 증빙하도록 폐기물 관리법이 개정이 되었다. 이 관리법의 지정폐기물 시행규칙 확립으로 현재의 폐기물 분류번호가 도입되게 된다 (환경부령 제82호, 1999.8.9.). 2008년에 사업장 지정폐기물에 사업장 일반폐기물과 함께 사업장 폐기물 분류번호가 개정되었고 2016년에 생활폐기물 분류번호 추가로 현재의 분류체계가 완성된다. 현재 법령 분류는 시행규칙에 따라 폐기물 종류가 총 6자리(XX-YY-ZZ)로 설정되어 있고 앞 2자리는 분류, 중간 2자리까지 포함하면 중분류, 마지막 2자리까지 고려하면 세분류로 나타나게 규정되어 있다. 지정폐기물은 01~30번으로 분

류에 속하게 되어 있다(강은영).

2) 지표의 개념설명

(1) 지표의 개념

지표는 해당분야의 현황을 평가하거나 변동을 파악하는 척도로 활용되며 복잡한 현상을 단순화하여 제시할 수 있으며 시계열 변화도를 파악할 수 있는 계량화된 정보를 의미한다. 지속가능한 정책결정을 위해서는 현황에 대한 신뢰도 높은 정보가 요구된다. 이에 정책입안자와 대중은 주요 문제를 손쉽게 파악할 수 있는 집약적이고 요약된 통계가 필요하므로 지표를 활용하게 된다(유민수, 2007). 노화준(2001)은 지표를 체계의 변화에 대한 공공 통계치로서 간결하고 균형적이며 보다 포괄적인 판단의 준거로서 역할을 한다고 본다. 지표는 계획의 목표를 요약하여 제시하는 정보로서 목표 달성을 위한 수단으로서 달성정도를 측정하려는 기준과 척도의 역할을 한다. 즉 우리가 바라는 욕구수준과 현재 상태를 비교 및 반영하기 위한 주요 지침의 역할을 수행한다. 따라서 지표는 정책수립과 시행 및 평가에 이르는 전 단계에서 객관화된 준거를 제시하여 목적을 더욱 구체화하는 수단이다(나종민, 2010). 이승희(2002)는 지표로 현황을 계량화 하여 설명하는 척도로서 직관적인 정보를 추론할 수 있음에 지표 개발에 의미를 두었다. 지표는 특정부분의 상태를 총괄하여 집약적으로 나타냄으로서 특정부분의 외양 및 질 적인 측면을 고려하여 발전 수준의 척도가 되는 수단으로서의 성격을 지닌다. 지표는 2개 이상의 변인이 결합하여 전체 집단의 크기를 통제할 수 있는 가능성을 요건으로 한다.

지표의 규범성과 기술성이 상충되는데 규범적 지표는 다음과 같이 요약된다. 사회의 목표를 수립하고 이에 비추어 현재 목표 달성 도달 여부에 대해 포괄적이고 균형적으로 판단할 수 있는 지표이다. 이에 비해 기술성을 반영하는 실증적 지표는 사회의 관심사나 상태 및 현황을 적절하게 측정하고 보고하는 측면의 지표이다. 실증적 지표는 규범성과 상호보완이 이루어지나 상충되는 측면이 있다. 이상적인 지표는 사회가 요구하는 가치를 염두에 두는 규범적 지표와 사회의 현황을 측정하는 실증적 지표가 적절히 조화된 상태이다. (이승희, 2002).

아젠다 21이 체결되면서 건강과 환경 분야의 지표 개발에 박차가 가해지는 계기가 되었다(Agenda 21, 1993). 아젠다 21을 보면 모든 수준에서 결정을 내리는 데 지속가능한 발전지표가 확고한 기반을 제공해야 하며 자체적으로 통합 환경과 개발 체계의 지속가능성을 규제하는 데도 기여해야 한다.

EEA(유럽 환경 위원회)의 환경과 지속가능발전지표는 4가지로 함축된다. (Schirnding&WHO, 2002). 첫째는 기술적인 지표로서 오염물질의 배출이나 농도에 의해 환경과 건강에 미치는 영향을 다룬다. 둘째는 성과 지표로서 지표가 원하는 수준에서 얼마나 멀리 있는지 나타내며 정치적인 목표나 기준 값과 연계되어 있다. 세 번째는 효율 지표이다. 생산과 소비 과정의 효율을 나타내며 일례로 단위 생산 당 에너지 소비 같은 지표들을 말한다. 네 번째는 총 복지 지표로서 환경, 사회, 경제의 차원을 종합하여 전반적인 복지가 증가하는 지를 설명한다.

사회지표의 측면에서 통계청(2004)의 『한국의 사회지표체계 개편 연구』는 사회지표가 공통적으로 추구하는 가치와 방향을 함축적으로 제시하고 있다. 사회지표는 사회의 변화 중 삶의 질의 측면에서의 복지의 변화를 양적으로 측정 가능해야한다. 또한 사회의 가장 현저한, 실질적인

목표를 포괄해야 하며 사회적 관심을 포착하고 정책과의 관련성을 염두에 두어 성과를 측정할 수 있어야 한다.

경제지표는 분야별 경제 상황을 통계 수치화하여 경제 현황과 상태를 파악한다. 경제지표는 이전 경기상황을 이해 및 분석할 수 있다. 더 나아가 장기적으로 관측되는 총체적인 경제 활동이 등락하며 나타나는 경기순환을 파악하며 이를 기준으로 미래의 경제활동의 양상을 추정해볼 수 있다는 점에서 의의가 있다.(이슬, 2019)

(2)지속가능성 지표의 개념

지속가능성 지표는 1991년 OECD 환경장관회의에서 지표체계를 확립하면서 시작되었다. PSR(Pressure-State-Response)의 지표 체계를 확립하여 지속가능발전 지표를 제시하고 인간 활동의 요인인 D(Driving force)을 중점으로 하여 사회, 경제, 환경 3개 분야에서 지표를 확립했다(홍수정, 2005). CSD에서 지속가능성 지표를 개발하여 1995년에 최초의 지표체계를 구성했다. EU는 암스테르담 조약의 제 2조항에서 핵심 주제로 지속가능성 지표를 도입하여 성과를 측정하기 위해 노력했다(Ewald Rametsteiner, 2011). 지속가능성 지표는 현황과 변화추세를 통합하여 측정하며 상호작용을 보는 도구이다. 지속가능성은 추상성이 강하므로 구체적으로 현실에서 확립할 필요가 있으며 이러한 평가를 위한 가장 강력한 도구는 지표이다(변점출, 2009). 전통적인 지표와 지속가능성 지표의 근본적인 차이는 지속가능한 개발의 개념의 반영여부에 있다. 광범위한 이해집단들이 지속가능성 지표의 수립과정에 참여하면서 지속가능성의 단순평가를 넘어서 공동체의 목표를 실현하는 매개체가 되거나 조정과정

에서 민주주의 능력이 배양된다(변점출,2009).

지속가능발전지표는 세 가지 기본조건을 토대로 제시된다.

첫째, 환경, 사회, 경제의 큰 축을 고려하되 이들의 상호작용을 포착하여 어떤 방향성을 지니는 지를 파악한다.

둘째, 지속가능 발전 지표는 쉽게 이해되며 간단하고 자료수집과 분석이 수월해야 한다. 구성원은 지표 개발에 시작단계부터 참여가 보장되어 합의된 비전을 제시할 수 있어야 한다.

셋째, 정보의 활용도를 높이고 포괄적이고 정확한 정보를 제공하기 위해 체계적인 접근으로 지속가능성 지표를 수립한다(이효정, 2011).

(3) 지표의 선정 기준

지표 개발에 앞서 적절한 지표 선정 요건이 확립되어야 한다. OECD가 확립한 지표 선정과 UNCSD, 국가지속가능발전위원회(2008)의 지표 선정 기준은 (표 2-2), (표 2-3), (표 2-4)과 같다. (변점출, 2009; 이효정, 2011) 지표는 현황을 단적으로 보여주는 강력한 도구이나 선정기준이 없으면 적합한 지표를 개발하기 어렵기 때문에 다음의 표에서 나오는 선정 기준을 고려하여 개발할 필요가 있다.

표 2-2. OECD 지표 선정 기준

1	해석의 용이성
2	시간의 경과로 인한 추세를 나타내야함
3	조건의 변화에 능동적이어야 함
4	기술적, 과학적인 관점을 수용 함
5	합리적인 비용과 이용가능한 자료를 토대로 해야 함
6	자료는 양질이어야 하며 문서화되어야 함
7	자료는 정기적으로 갱신됨

표 2-3. UNCSD 지표 선정 기준

1	중요한 목표로 연결되어 개선을 이룩해야 함
2	쉽게 이해하게 명확하고 간단해야 함
3	정부 수용범위 안에서 실행됨
4	근거가 명확해야함
5	미래에도 적용가능 해야 함
6	의제 21의 내용을 포함, 지속가능한 발전의 요소들을 가능한 광범위하게 포괄해야 함
7	가능한 포괄적인 범위 안에서 합치하는 표본이 있어야 함
8	이용성이 높고 타당성이 있어야 함

표 2-4. 국가 지속가능 발전위원회(2008) 지표선정 기준

1. 적합성	지표가 대표성이 커야 하며 지표 개발의 목적에 도움이 되도록 지표를 관리해야함
2. 측정비용	지향목적을 분명히 확보하여 지표의 개발과 실행에 많은 예산이 소요되는 것을 고려해야함.
3.적용가능성	지표를 도출하기 위한 자료의 확보가능성을 바탕으로 선정해야 함
4.비교가능성	지표는 공간적으로 시간적으로는 비교가 가능해야함
5. 측정 가능성	지표는 측정가능성이 있고 측정 방법은 객관성이 확보되어야함
6. 이해관계자 지향성	지표는 이해관계자들의 정보욕구를 충족시키고 이해관계자들의 목적과 관심을 고려해야함

(4) 선정된 지표의 평가 요건

다양한 지표의 평가 요건이 존재하지만 가장 중요한 3가지의 평가 요건으로 압축할 수 있다.

첫째는 타당성이다. 측정하려는 현상을 정확하게 반영할 수 있는지에 대한 여부로 지표가 타당한지를 판별할 수 있다.

둘째는 신뢰성이다. 지표는 시간에 따라 다른 공간과 다른 사람들에 의해 측정되었을 때 현상을 정확하게 반영할 수 있어야 한다. 측정하려는 대상이 명확할 때 신뢰도가 높다.

셋째는 단순성 및 감당할 수 있는 지에 대한 여부이다. 지표를 위한 데이터 수집이 너무 부담스럽지 않아야 하며 자금, 인원, 시간을 자원으로 할 때 데이터 수집에 요구되는 자원의 양이 합당해야 한다.

2. 선행연구 고찰

1) 폐기물 지속가능성 지표 연구

폐기물 발생량 증가와 부적합한 관리로 폐기물 처리가 사회의 관점에서 시급한 문제로 부각되었다. 이에 따라 지표적인 접근을 취하여 폐기물 관리방안의 맹점을 포착하려는 연구들이 있다. Ikhlal(2017)의 연구는 지속가능한 발전을 목표로 삼아 부정적인 환경영향을 줄 수 있는 유해 폐기물 문제의 요인들을 분석하고 폐기물의 지속가능성을 방해하는 관리들을 파악했다.

유해 폐기물의 환경영향에 대한 경각심이 커지자 국가차원에서 유해 폐

기물의 지속가능성 지표의 개발을 목표로 하는 연구들이 등장했다.

Stasiskiene(2011)는 리투에니아의 사례로 유해 폐기물에 초점을 맞추어 지속가능성 지표를 개발했다. 해당 연구는 유해 폐기물의 생산, 소비, 수출, 처리(매립) 등을 주요 인자로 삼은 지표들을 개발 하여 유해 폐기물의 지속가능성 지표 체계를 확립하는 데 의의가 있다. 본 연구도 유해 폐기물인 지정폐기물의 지표 체계를 확립하는 데 목표를 두었으므로 해당연구의 연장선상에 있다.

지속가능한 발전 목표를 다수의 국가가 채택하면서 유해 폐기물에 대한 예방적 차원의 관리 정책의 필요성이 대두되었다. Peterson(2002)의 연구는 이 점을 염두에 두고 유해 폐기물의 지속가능성 지표를 개발하여 제시한다. 제시된 지표 체계는 산업이나 경제 데이터를 적용하는데 유용하게 쓰인다는 점에서 의의가 있으나 해당 연구는 지표 개발이상의 실질적인 평가나 사례연구는 부족하였다.

유해폐기물의 발생이 문제가 되자 의사결정자들에 적합한 정책적 양적, 질적 폐기물 관리 지표수립이 목표로 대두되었다.(Granados, 1999; Deus, 2019; Elimelech, 2011)의 연구들은 유해 폐기물 관리능력을 높이려면 유해 폐기물에 특화된 혁신적인 지표 체계 확립의 필요성을 역설했다. 해당 연구들은 정책 수립 측면에서 유해폐기물 지표를 본격적으로 다룬다는 의의가 있다. 개발된 지표는 지자체의 환경영향을 적합하게 평가하며 최적의 관리 정책을 개발하는 데 일조하는 것을 목표로 수립한다.

폐기물 적정처리 수준에서 더 나아가 폐기물 제로화의 목표를 범정부적으로 수립하고 있다. Zaman(2014)은 폐기물 제로화 수준을 평가하기 위한 핵심 지표를 개발하는데 주안점을 두었다. 해당 연구는 폐기물 제로화의 시대로의 전환 흐름 속에서 폐기물 제로화 달성여부를 판별할 수 있는 지표 체계를 도입하는데 의의가 있다. 본 연구도 자원순환 관점에

서 재활용증가를 목표로 하는 지표를 도입하여 폐기물 제로화를 위한 재활용 100% 업사이클링 달성을 평가할 수 있는 발판을 마련했다는 점에서 해당 연구와 부합하는 부분이 있다.

자원순환 사회에서 일 진보하여 순환경제 확립을 목표로 삼아 지표개발을 추진한 연구도 있다. Bastos(2019)의 지표체계는 폐기물 발생억제를 주목하며 의사결정을 돕는다. 또한 이행된 정책들의 효율성에 대한 통찰력을 제공하며 도시간의 벤치마킹을 촉진한다. 순환경제의 관점에서 지속가능한 소비와 생산으로 초점을 확장하며 소비와 관련된 물질 추출에서 환경영향에 이르는 과정을 아우른다.

도시화로 인한 집약적인 폐기물 발생이 나타나면서 도시차원에서 폐기물 관리의 지속가능성을 주목하는 연구가 수행되었다. 이에 Michel Xocaira Paes(2020)의 연구에서는 지표체계를 확립하여 도시의 차원에서 시나리오 별로 분석하였다. 결과, 환경지표를 통합하면 부정적인 환경영향을 최대한 감소하는 시나리오는 건조폐기물을 재활용하는 시나리오로 현 상태에 비해 부정적인 영향이 최대 50%감소했다.

Luciana da Silva(2019)의 연구도 중, 대규모 도시차원의 폐기물 관리를 주목하여 지속가능성 지표를 폐기물관리에 적용한 연구이다. 해당연구는 396개의 지표를 수립하였으나 최종적인 사례연구에 적용된 지표는 11개라는 점에서 실질적인 지표 평가에 수반되는 자료의 존재 유무가 지표를 이용한 평가체계에 매우 중요하다는 것을 시사한다.

Kelly Danielly da Silva(2018)의 연구도 브라질 상파울루의 도시 차원에서 지속가능성 지표를 적용하여 도시 폐기물 관리의 현황을 진단하였다. Silva의 연구의 목적은 Santo André, São Bernardo 와 São Caetano do Sul의 도시 폐기물 관리 수준을 평가하는 것이다. 결과, 개선방안은 여러 폐기물 처리방법을 통해 폐기물을 효과적으로 사용하여 매립률을

낮추는 것에 있다고 판단했다. 해당연구에서의 매립률은 본 연구의 재활용량/소각·매립량 지표를 통해 현황을 반영할 수 있다. 자원순환 관점에서 재활용은 장려하고 소각과 매립은 지양하는 목표를 표방하므로 매립률을 낮추어야 한다는 해당 연구의 결론은 자원순환관점에 부합한다.

도시폐기물 관리가 주목을 받게 되면서 Cervantes(2018)의 연구는 도시폐기물을 평가하기 위해 핵심 지표를 분석하여 모든 도시폐기물의 측면을 고려한 새로운 지표체계를 확립하였고 지표체계가 갖추어야 할 주요 자질을 명확히 하였다. 해당 연구는 방대한 지표를 제시하지만 한계점은 가용정보의 존재 유무에 의해 모든 지표를 사용하여 현황을 실질적으로 평가하기 어렵다는 점에 있다.

폐기물 적정처리 기술이 부적절하고 폐기물관리체계의 정보가 구축되어 있지 않아 폐기물 관리가 시급한 개발도상국들의 폐기물 관리의 지속가능성을 제고하는 방안도 학계의 관심사가 되었다. 이에 Elvira Olay-Romero(2020)의 연구는 기술 지표를 개발하여 개발도상국의 폐기물 관리체계를 평가하는 목표를 수립했다. 결과적으로 대다수의 지방자치단체에서 처분지의 상태를 개선하고 수거서비스의 범위를 넓힐 필요성이 있음을 발견했다.

폐기물 관리 지표의 성격을 연구한 논문이 있다. C.Visvanathan(2012)의 연구는 폐기물 관리가 광범위한 영역을 포괄해야하지만 주로 일인당 발생된 폐기물량과 매립지와 소각시설에 가는 비율과 재활용에만 주로 초점이 맞추어 있는 것을 지적한다. 이에 더 높은 우선순위를 가진 감소와 재사용이 누락되어 있으며 순환경제에 의해 재활용에만 전반적으로 주목하는 양상을 포착했다.

라이프 사이클 지표로 지속가능한 폐기물 관리에 접근한 연구가 있다. Ole(2003)의 연구에서는 자원소비, 1차 에너지 소비, 매립의 관점에서 두

가지 모델을 구축하였다. 두 가지 모델로 현황을 파악하였으며 모델의 결과가 발생량 감소에 일조하는 단초를 제공한다는 점에서 의의가 있다.

European Commission(2012)에도 라이프 사이클 지표를 활용하여 지속 가능한 폐기물 관리를 분석한 리포트가 있다. 유럽연합의 지속가능성을 염두에 두고 폐기물 관리에서 확장하여 발생량 예방과 회수, 재사용, 재활용을 포괄하여 분석하고 모니터링한 연구로서 의의가 있다.

지속가능한 폐기물 관리를 위해서 방해가 되는 요소들을 종합하여 분석한 논문이 있다. Tat Dat Bui(2020)은 텔파이 기법으로 폐기물관리 방해 요소 44개를 최종적으로 제시한다. 가장 개선이 필요한 부분으로는 가정 유해 폐기물과 폐기물 연구 펀드의 부족, 자료 수집과 분석에 표준 프로세스가 잘 확립이 안 되어 있다는 점으로 압축된다.

국내에도 폐기물 지속가능성을 지표적 접근을 통하여 평가, 분석 틀을 확립한 연구들이 있다. 이효정(2011)은 7대도시에서 생활폐기물의 연도별 변화를 분석하여 지속가능성의 개선여부를 평가했다. 회귀분석을 통해 지속가능성 여부를 판별하였고 신뢰구간을 산정하여 0이 포함되면 귀무가설에 의해 평가할 수 없다고 보았다. 본 연구도 해당 연구를 참고하여 공단별 시계열 회귀분석을 실시하였다.

지속가능한 순환경제로의 이행에 관련된 폐기물 지표 체계를 분석한 한국 논문이 있다. 박상우(2018)은 EU, 일본, 한국의 지표체계를 비교하여 한국이 폐기물 관리 지표에서 미흡한 면모를 보인다는 결론을 도출했다. 일본과 EU가 전 과정을 아우르는 반면 한국은 폐기단계만 고려하고 있어 정책 수립에 있어 제한적이라는 점을 포착한다.

후속연구에서 박상우(2019)는 자원순환기본법의 확립과 함께 새로운 평가 지표 체계가 필요함을 주장하며 지속가능한 사회에 걸맞은 폐기물 관리가 수행되는지를 주목하였다. 결과, 현 자원순환 평가지표가 변모하는

국제 정세를 충실히 반영하지 못하고 있다는 결론을 도출했다.

2) 연구의 차별성

본 연구와 선행연구와의 차별성은 다음과 같이 세 가지로 요약될 수 있다.

첫 번째로 본 연구에서는 그 동안 폐기물 지속가능성 관리의 담론에서 간과되었던 지정폐기물에 초점을 맞추어 그 관리실태를 파악하고 지속가능성 지표에 따른 분석과 평가를 실시했다. 해외 지속가능성 연구도 유해폐기물 보다는 일반폐기물에 초점을 맞추어 진행되어 왔다. (Menikpura, S, 2012; Antanasijević Davor, 2013). Yih Tng Chong (2016)의 연구는 폐기물의 환경, 사회, 경제의 지표를 제시했지만 역시 초점은 일반 폐기물로 국한되어 있다. 한편 국내 지정폐기물 연구(조수준, 2002; 윤정목, 2000; 김성우, 2017)에서는 지속가능성을 위한 지표 개발과 평가 및 분석은 이루어지지 않았다. 이상에서 살펴본 바와 같이, 지속가능성에 관한 국내외 연구에서 일반폐기물, 생활폐기물, 건설폐기물은 비교적 연구가 많이 이루어져 왔지만 지정폐기물을 대상으로 한 연구는 드물다.

두 번째로, 본 연구에서는 지정폐기물 관리의 지속가능성 수준을 파악하기 위해, 국내에 적용가능한 지속가능성 지표를 수립하였을 뿐만 아니라 이를 적용하여 공단별 지속가능성을 구체적으로 평가하였다. 기존 선행연구들에서는 대다수 지속가능성 지표를 제시하는 수준에 그치고 있을 뿐 이를 적용한 실질적 평가의 단계는 누락되어 있다 (Granados, 1999). 대표적으로 지표를 통한 유해 폐기물 지속가능성 연구 Stasiskiene(2011)는 지표를 제시만하고 실제로 평가를 하지 않았다. J. den Boer (2007)는

지표를 통합했지만 지표의 통합 결과를 사용한 결과를 제시하지는 않았다. S. Monprapussorn et al (2009)에서는 유해 폐기물 운송의 지속가능성을 논의 했지만 프레임 워크 제시 수준에서 연구를 진전시키지 않았다. 이상에서 논의한 바와 같이, 기존 선행연구들은 체계나 지표를 제시하는 수준에서 벗어나지 못했는데 이는 Ikhlayel (2017)의 논문처럼 지표가 구체적이지 않아 정량적인 평가가 어렵거나 Stasiskiene(2011)처럼 자세하게 지표가 제시되어도 실제로 지표분석을 위한 데이터베이스를 구축하는 기본단계가 어려워 평가 단계로 이어지지 않고 있기 때문이다. 세 번째로, 본 연구에서는 국내 12개 공단별로 지정폐기물 관리의 지속가능성 지표에 따른 공단 간 차이 외에도 공단별 시계열 분석을 수행하였다. 이에 반해 기존 선행연구들의 대다수는 시계열 분석을 수행하지 않고 있다. Rigamonti (2016)논문은 유해폐기물 처리를 특정 지역으로 공간적인 범위를 확립하여 사례연구를 진행했을 뿐, 시계열 분석은 이루어지지 않았다. Andre Gomes Guimar~aes et.al (2018) 논문은 브라질 시멘트 회사의 유해폐기물이 종업원들의 지속가능성과 건강 문제 끼치는 영향을 분석하고 있지만 유해폐기물의 지속가능성 평가도 결여되고 시계열분석 또한 이루어지지 않았다. 이들 문헌들과는 달리 본 연구는 지표를 제시하고 더 나아가 지표를 통해 실질적으로 지정폐기물의 공간과 시계열 상의 지속가능성의 여부와 수준을 평가한다는 점에서 차별성이 있다.

Ⅲ. 지속가능성 평가지표체계 구성

1. 배경

본 연구의 목적은 지정폐기물 관리가 지속가능성에 부합하게 이루어지는지를 평가할 수 있는 지표 체계를 구성하고, 그를 활용하여 2009~2018년 동안 주요 국가산업단지지역의 지정폐기물의 관리가 지속가능한 방향으로 이루어졌는지를 지표를 통해서 실질적으로 평가하는 것이다. 이를 위해서 우선 지정폐기물 관리의 지속가능성 수준을 평가하기 위한 지표를 구체적으로 수립해야 한다. 앞서 논의한 바와 같이 지속가능성 평가지표는 평가영역에 따라 매우 다양하게 운영되고 있다.

자원순환기본법은 전 과정에서 자원의 효율적 이용과 천연자원 소비 저감, 재활용 활성화를 골자로 하여 자원고갈을 최대한 저감하는 책무를 기정사실화 하고 있다. 이에 자원순환을 주목할 필요가 있다(정희성, 2013). 지속가능성 관점에서 자원순환을 확립하지 않으면 자원고갈과 폐기물에 의한 환경오염이 맞물려 미래로의 지속가능성을 담보할 수 없는 점을 고려할 필요가 있다. 따라서 폐기물 발생을 최소화하며 물질순환 및 재활용으로 자원 잠재력을 최대한 이끌어내어 순환적 관리의 틀에서 현 사회가 미래로 존속될 수 있도록 조치해야 된다. 이에 자원순환시스템을 구축하여 순환적으로 자원관리를 다루며 환경 부하가 최대한 감소하는 체계를 확립하여 1차적으로 오염을 통제하며 2차적으로 물질, 에너지 재사용, 재생의 순환고리를 확립해야 한다. (정희성, 2013)

자원의 선순환을 통해 순환경제 실천을 정부차원의 비전으로 수립하고 있는바, 폐기물의 자원순환은 국가적 책무이자 폐기물 관리의 우선순위

이다. 자원순환은 현재 순환 경제 구축과 순환 사회 구축이라는 목표를 포괄하면서 경제와 사회를 아우르는 개념으로 자리매김했다. (자원순환 기본계획, 2018). 순환경제란 자원소비와 환경오염물질 배출을 최소화하고 자원순환 생산 및 소비가 구조화된 경제 구조이다. 순환경제의 목적은 환경영향을 줄여 자원이용자인 인간의 생활이 장기적으로 개선되도록 하며 자원소비를 감축시켜 경제성장을 이룩하는 것이다. 또한 같은 맥락에서 순환 사회는 자원의 유효이용을 위해 폐기물을 재자원화하고 재상품화하며 자원의 낭비를 억제하는 사회이다(김세규, 2011). 즉 자원순환형 사회는 폐기물을 순환 이용하여 환경의 부담을 최소화하며, 자원이용을 효율적으로 하여 천연자원 투입량을 저감하는 사회이다. 또한 자연자원 이용하여 갱신가능 자원으로 변화시키고, 생태적인 물질순환을 보존하는 사회이다. (임혜숙, 2015).

재활용과 발생량 감축은 기본적인 책무사항으로 국가전략으로 규정되어 있다. 국가차원에서 자원순환 사회를 달성하려는 목표 전략을 수립했다. 이에 자원 투입량과 공정손실을 저감하는 방침을 세우고 폐기물의 재활용을 최대화한다는 방침을 수립했다(환경부, 2018). 이에 따라 본 연구에서도 지정폐기물 관리의 지속가능성을 평가하기 위한 지표로서, 자원순환 관점에서 지정폐기물 감량의 수준을 파악할 수 있는 발생량 감축률 지표를 도입하였다. 다음으로는 지정폐기물 발생이후 재활용 수준을 파악할 수 있는 재활용량/(소각·매립량) 지표를 수립하였다.

환경지표 체계는 환경영향을 기준으로 세부 지표 체계를 구성하려한다. 환경영향의 세부지표는 $1/(\text{소각} \cdot \text{매립에서 나오는 온실가스 배출량})$ 로 선정하고 환경영향의 온실가스 관리능력의 측면에서 $(\text{소각} \cdot \text{매립})\text{량}/(\text{소각} \cdot \text{매립에서 나오는 온실가스 배출량})$, 지정폐기물 처리능력 측면에서 $\text{발생량}/(\text{이월량} \cdot \text{기타} \cdot \text{보관량})$ 의 지표 체계를 구성하고 경제지표로 총생산액/

발생량을 삼아, 총 6가지 지표로 공단의 지표별 지속가능성 확립여부를 판단하려 한다. 지표 선정과정에서 최대한 중복되지 않고 영향이 독립적이라고 판단되는 지표들을 도출하는 데에 주안점을 두었다. 또한 지정폐기물 관리의 지속가능성 수준과 방향을 뚜렷이 구별할 수 있는 지표들로 구성하였다. 이를 정리하면 (그림3-1)과 같다.

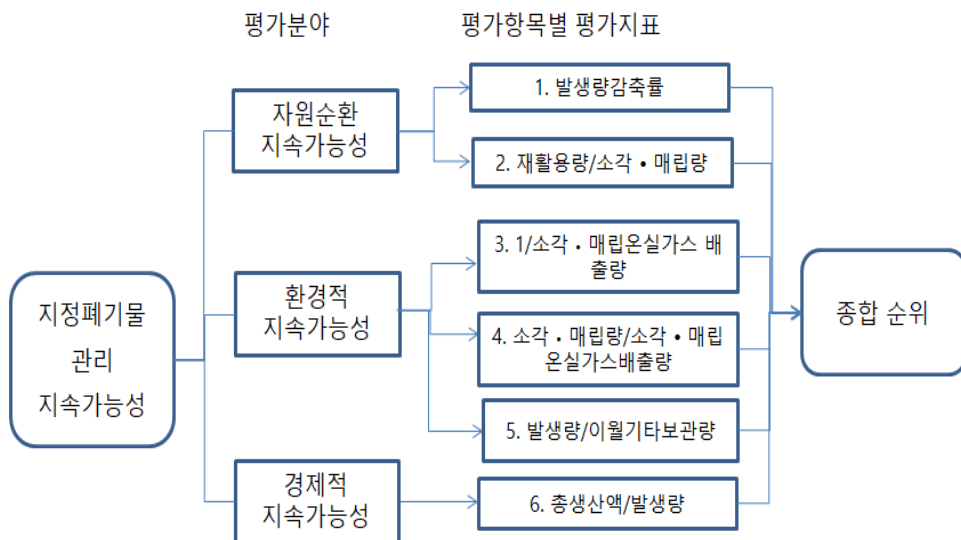


그림 3-1. 지표 체계

2. 자원순환 평가지표

1) 발생량 감축률

주요 폐기물 처리국가가 폐기물수입을 거부하면서 폐기물처리경로가 차단되어 폐기물 대란을 초래하고 매립시설 사용연한이 도래하고 있다. 또한 에너지 회수 방안이 환경과 보건의 안전성을 담보하지 못하자 폐기물 감량의 요구가 높아지고 있다(이다은, 2018). 기존 사회가 폐기물의 처리에 초점을 두었다면 자원순환시대에서는 폐기물 발생 억제, 즉 원천감량을 지속가능한 폐기물 처리의 목표로 수립하고 있다(자원순환정보시스템, 2019). 폐기물관리법에 의거, 사업장 폐기물 다량배출 사업장의 폐기물 감량실적 관리 제도가 2004년도에 확립되었다. 그러나 사업장 자체의 자율적인 감량 목표를 설정하는 문제와 관리의 부재를 이유로 하여 실효성 확보 및 개선의 필요성이 대두되었다. 감량 방법과 최신 정보와 지식 및 기술을 제공하는 플랫폼을 마련하여 발생단계에서 원천감량목표 수립을 위한 조치의 필요성도 대두되었다.(제 1차 자원순환기본계획, 2018). 이에 자원순환기본계획에서 명시한 대로 생산단계에서 폐기물의 원천감량을 추구하며 업종별로 자원이 물질 흐름의 궤를 따라 소비되면서 창출되는 경제적 가치를 고려하여 중장기 적인 목표 수립이 이루어지고 있다.

폐기물 감량의 단계별 세부 추진 계획으로 자원 효율적인 생산 구조를 확립하는 방침을 세워 사업장별 감량 목표를 설정하고, R&D를 통해 우수기술을 추진하며 업종별 기술유형별 가이드라인을 제공하고 있다(환경부, 2018). 이에 첫 번째 지속가능성 지표로서 감량의 여부를 파악하여

자원순환기본계획의 목표와 부합하는 지속가능한 순환경제로의 전환이행 여부를 판단하는 지표인 발생량 감축률을 도입한다.

발생량감축률은 다음의 식으로 정의된다.

$$\text{발생량감축률} = -1 * \frac{\text{당해연도발생량} - \text{전년도발생량}}{\text{당해연도발생량}}$$

발생량감축률 지표의 목적은 다음과 같다.

첫째, 지정폐기물 발생량의 증감 양상을 파악하여 발생량 억제 수준을 파악한다.

둘째, 발생량 억제를 우선시하는 자원순환의 목표에 부합하는 관리가 이루어지는 지 평가한다.

본 지표의 의의는 기초 통계량인 지정폐기물 발생량의 감축 및 증가 양상을 뚜렷하게 포착하기에 증감을 반영하는 설명력이 뛰어나다는 점에 있다. 지정폐기물 발생량의 저감추세를 뚜렷하게 나타내줌으로서 자원순환 관점에서 발생량억제 정도를 파악하여 지속가능한 방향으로 진전되고 있는지를 평가할 수 있다.

2) 재활용량/소각·매립량

재활용은 자원순환의 국가전략 차원에서 대표적인 폐기물 처리방법으로 확립된다. 이미 생산단계의 추진계획으로 제품 설계부터 자원순환을 고려하여 재활용을 위한 설계기준을 제시하고 있다. 더욱이 한국은 Zero-Waste 실현을 목표로 삼아 모든 폐기물을 100% 재활용하는 업사이클링 방법으로 자원의 가치를 높이며 재활용 단계를 넘어선 전환도 모색하고 있다(기획재정부; 국토연구원, 2017)

이에 비해 소각은 소각공정에서 폐 에너지 회수가 가능하지만 중금속

과 유해 화학물의 환경노출을 유발하므로 환경과 보건 위해성을 최소화 하는 것이 소각 공정 관리의 목표이다. 매립 또한 처분지 확보과정도 녹록치 않은데다가 온난화 주범인 이산화탄소의 21배의 온실효과를 가진 메탄가스를 배출하고 유해 화학물질 침출 우려가 있다 (Rory Bratcher, 2017; T Sabbas et al. 2003). 관리단계에서 환경부와 지자체는 직매립 제로화와 처리 최적화의 목표를 세우고 있으며 자원순환기본법과 함께 매립을 50% 저감하는 목표를 확립했다. 또한 매립과 소각 최소화 정책으로 배출자가 폐기물을 매립·소각하는 경우, 폐기물의 종류에 따라 10~30원/kg의 폐기물처분부담금을 부과하여 매립과 소각을 억제하는 정책을 도입하고 있다. 이에 매립량이 30%이상 감소하여 매립지 부지 확보의 사회적 비용과 환경오염 정화비용이 줄어들고 재활용이 극대화되어 자원순환사회 확립으로 이어지는 목표 수립이 실효성을 확보할 수 있을 것으로 전망된다(전완, 2017). 따라서 자원순환 측면에서 저해되는 지정폐기물의 처리인 소각과 매립이 바람직한 지정폐기물의 처리인 재활용에 비해 얼마나 발생하고 있는지를 단적으로 보여주는 지표를 도입하려 한다. 이를 반영하는 두 번째 지속가능성 평가 지표로서, 본 연구에서는 재활용량/소각·매립량 지표를 설정하였다. 본 지표는 $\frac{\text{재활용량}}{\text{소각량} + \text{매립량}}$ 으로 산정한다.

재활용량/소각·매립량 지표의 목적은 다음과 같다.

첫째. 소각·매립량 대비 재활용의 현황을 파악한다.

둘째. 재활용 증가와 소각·매립량을 저감하는 것을 목표로 하는 자원순환 관점에 부합하는 관리가 이루어지는 지를 평가한다.

본 지표의 의의는 자원순환 측면에서 덜 바람직하지 못한 소각·매립량의 지정폐기물의 처리가 바람직한 지정폐기물의 처리인 재활용에 비해 얼마나 발생하고 있는지를 단적으로 보여주므로 단일 지표로서 손쉽게

양상을 파악할 수 있다는 점이다. 본 지표는 재활용 증가와 소각·매립 감소를 통하여 자원순환의 지속가능성을 확보하는 것이 범국가적으로 우선 과제중 하나라는 점에서 타당성이 높다.

3. 환경영향 평가지표

1) 온실가스 총 배출량 (1/소각·매립온실가스 배출량)

환경영향은 다양한 지속가능성 지표에서 주안점을 두고 분석되는 부분이다. Eco-Indicator 99는 LCA 전과정 평가에서 가장 활발히 탐구되는 환경 영향의 지표적 접근 방법으로 제품의 환경부하를 단일 점수로 산정하는 대표적인 환경영향 평가의 척도이다. Eco-Indicator 95의 단점인 환경정의의 제한, 피해 분석과 가치평가의 부적절함을 보강하여 보건, 생태계의 질, 자원을 포괄하는 지표를 수립했다(Mark Jacob Goedkoop et al, 2001).

IPCC (2000)에 따르면 폐기물 소각 시 발생하는 주요 온실가스는 이산화탄소이며 소각물질의 화석탄소 함량이 이산화탄소 배출량의 결정요인이다. 소각처리를 통한 이산화탄소 발생이 환경기초시설분야에서 주요 이산화탄소 배출 원이며 사업장 폐기물 발생량이 증가하므로 사업장 폐기물 소각관리가 온실가스 저감목표 수립의 핵심과업이다(간순영 외, 2008). 지정폐기물의 소각과 매립에서 발생하는 온실가스는 이하 소각·매립온실가스배출량으로 칭한다.

폐기물 매립지에서 발생하는 메탄은 이산화탄소의 21배의 온난화지수를 가지며 IPCC에 따르면 대기의 메탄량이 증가 추세를 보이고 있으며 폐

기물 부문의 온실가스의 60%가 매립지 메탄 배출량으로서 발생량 추정
이 매우 중요하다고 볼 수 있다(김현선, 2007)

박홍석(2013)은 산업단지 온실가스 저감방안을 제안하며, 기업참여를
유도함으로서 인식을 제고하고, 감축전략을 위한 로드맵을 구성한다. 또
한 온실가스 감축기반을 조성하고, 온실가스 감축 시행을 위한 자금 및
기술 지원을 강구하며, 모니터링 역량을 강화하여 산업 경쟁력을 육성하
려는 전략을 제시하고 있다.

우리나라는 2009년 온실가스 감축목표를 2020년 배출전망치 대비 30%
로 국제사회에 약속한바, 온실가스 저감 목표를 정책적으로 충실히 이행
할 의지를 명백히 표명할 필요가 있으며, 이에 국정과제로 온실가스 저
감 공약 이행을 위한 체계적인 감축 목표 달성과 이행계획수립의 실효성
확보를 추진하고 있는 바이다(기획재정부, 환경부, 2014).

범정부적 정책이행 의지로 저 탄소 녹색 성장 법에 의거, 온실가스 감
축 달성 세부 방안을 수립했다. 탄력적인 감축 이행 수단인 배출권 거래
제를 통해 국가적 온실가스 감축비용을 줄이며 제도를 조기에 안착시키
며 감축실적이 초과되면 이를 인정하여 업체 부담을 완화하는 방안이다.
또한 중소기업의 저감역량 강화를 위한 기술 이행과 교육을 위한 ‘온실
가스 감축 컨설팅단’을 도입했다. 더 나아가 정보 네트워크 및 감축 투자
를 활성화하고 감축 시설투자 세액 공제 등의 전략을 수립하여 지원방안
마련에 중점을 두고 있다. 또한 R&D를 통해 감축 핵심기술 개발을 초점
으로 하여 온실가스 대량 감축 기술 개발 목표를 이행한다. 또한 다배출
사업장의 감축을 위해 에너지 효율화를 위한 기반기술을 상용화 하는 목
표를 수립했다. (기획재정부, 환경부, 2014).

이에 본 연구는 지정폐기물의 소각과 매립에서 발생하는 온실가스 지표를
확립하여 환경영향을 평가하며 감축책무가 성실히 이행되고 있는지

과약하여 온실가스 발생저감 노력을 분석하려한다. 이로서 지정폐기물이 소각과 매립 처리 될 때에 필연적으로 발생하는 온실가스 배출량을 산정하기 위한 지속가능성 평가 지표로서 $\frac{1}{(\text{지정폐기물 소각} + \text{매립 온실가스량})}$ (이하 1/소각·매립온실가스배출량)을 도입하는 바이다.

지정폐기물 매립 시 온실가스는 GPG 2000 Tier 2 방법인 FOD(first Order Decay)모델이 매립지에 메탄 발생을 모사하는데 있어 좀 더 현실적인 배출량을 산정할 수 있다. 당해 매립년도에 메탄이 모두 발생하는 것이 아니라 시간을 두고 흘러나와 추후의 매립 량에 의한 메탄 발생과 누적되어 발생하므로 1차 분해반응식을 통해 메탄 발생량을 추정하는 방식을 환경부가 채택하여 메탄 발생량을 산정하고 있다. 그러나 메탄 발생 산정 시에 50년 이상의 매립자료가 요구되는 데 지정폐기물 현황자료가 1996년 이후로만 존재하고 환경부에 확인결과 1980년도 이후의 확보된 자료로 메탄 발생량 산정 시에 사용하기 때문에 자료 확보 차원에서 본 모델은 사용하기 어렵다고 판단된다. 따라서 질량수지 식에 의해 매립 당해 연도에 매립지에서 모든 메탄이 발생한다는 가정 하에 과거 매립 이력 자료가 불필요한 IPCC 1996 GL의 tier1 방법을 채택하는 바이다. 지정폐기물 소각 온실가스의 경우는 IPCC 2006 GL의 Tier2b 산정식으로 추산했다. 본 변수들은 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침 version 4’의 지정폐기물 부문 변수들을 취합하였고 성상을 알 수 없는 경우에는 기타 지정폐기물로 처리하여 산정하였다. 메탄회수율은 국가배출통계 회수율인 13%을 일괄 적용하였다. 지정폐기물 소각과 매립 처리 시에 발생하는 온실가스 배출량의 계산식은 다음과 같다.

<지정 폐기물 매립 부문 CH_4 배출량 산정식>

$$\text{배출량}(E) = (W \times MCF \times DOC \times DOC_f \times F \times \frac{16}{12} - R) \times (1 - OX)$$

배출량(E) : 어느 특정년도에서의 CH_4 배출량 (t/yr)

W : x년에 매립되는 지정폐기물 총량 (t/yr)

R : CH_4 회수량

OX : CH_4 산화율

MCF : CH_4 보정계수

DOC : 분해 가능한 유기탄소 함량

DOCf : 혐기적으로 분해 가능한 폐기물 내 유기탄소 비율

F : 매립가스 중 CH_4 성분비

표 3-1. 지정폐기물 매립부문 성상별 변수 값

지정폐기물 종류	DOC	DOCf	MCF	F	OX	메탄회수 율
폐합성고무	0.39	0.5	1	0.5	0.1	13%
폐합성수지	0	0.5	1	0.5	0.1	13%
폐수처리오니, 공정오니	0.09	0.5	1	0.5	0.1	13%
기타 지정폐기물	0.01	0.5	1	0.5	0.1	13%
혼합 지정폐기물	0.15	0.5	1	0.5	0.1	13%

<지정폐기물 소각 부문 CO_2 배출량 산정식>

$$CO_2 = (W \times dm \times CF \times FCF \times OX) \times \frac{44}{12}$$

CO2 : 소각시설에서 배출된 양 (tCO2/yr)

W : 지정 폐기물 소각 성상별 총량 (t/yr)

dm : 소각되는 폐기물 성상별 건조 물질 비율

CF : 건조 물질 중 탄소 비율(총 탄소 함량)
 FCF : 총 탄소량 중 화석탄소의 비율
 OX : 산화계수
 44/12 : 탄소에 대한 CO2 변환계수

표 3-2. 지정폐기물 소각부문 성상별 변수 값

성상	dm	CF	FCF	OX
폐합성고무	0.84	0.56	0.17	1
폐합성수지	1	0.8	0.8	1
폐수처리오니, 공정오니	0.35	0.45	0.01	1
기타지정폐기물	0.9	0.04	0.03	1
액상폐기물	-	0.8	1	1

<지정폐기물 소각부문 CH_4 배출량 산정식>

$$CH_4\text{배출량} = W \times CH_4\text{배출계수}$$

W : 지정폐기물 소각량 (t/yr)

CH_4 배출량 : $kgCH_4/yr$

CH_4 배출계수 : $kgCH_4/twaste$

<지정폐기물 소각부문 N_2O 배출량 산정식>

$$N_2O\text{배출량} = W \times N_2O\text{배출계수} \times 10^{-3}$$

W : 지정폐기물 소각량 (t/yr)

N_2O 배출량 : kgN_2O/yr

N_2O 배출계수 : $gN_2O/twaste$

<지정폐기물 소각 부문 총 온실가스 발생량>

$$\text{총 소각 온실가스} = CO_2\text{배출량} + (CH_4\text{배출량} \times 21 + N_2O\text{배출량} \times 310) \times 10^{-3}$$

표 3-3. 성상별 배출계수

성상	CH ₄ 배출계수	N ₂ O 배출계수
폐합성고무	0.0002	83.5
폐합성수지	0.0002	83.5
폐수처리오니, 공정오니	0.0002	408.41
기타지정폐기물	0.0002	83.5
액상 폐기물	0.0002	83.5

1/소각·매립온실가스배출량 지표의 목적은 다음과 같다.

첫째. 소각·매립량에서 발생하는 온실가스 배출량을 파악하여 환경영향을 평가한다.

둘째. 지구온난화의 주범인 온실가스 배출량을 저감하는 것이 초국가적으로 추진되는 과제인바, 소각·매립량에서 나오는 온실가스 수준을 평가하는 것이 필요하다.

본 지표의 의의는 지정폐기물 소각·매립량에서 발생하는 온실가스 배출량을 가늠하여 정부의 온실가스 저감 정책에 부합하는 관리가 이루어지는 지를 평가할 수 있는 준거를 제시한다는 점에 있다. 지정폐기물 소각·매립량에서 나오는 온실가스로 환경영향을 평가하여 부정적인 환경영향이 감소되어 지속가능성이 확보되는 지를 판가름 할 수 있다.

2) 처리량 당 온실가스 배출량 (소각·매립량/소각·매립 온실가스배출량)

지정폐기물을 소각과 매립처리하면서 온실가스가 배출되므로 환경영향의 저감노력이 필수적이다. 우리나라는 지구온난화문제에 대응하는 데 국제적 감축노력을 함께 하며 온실가스 저 배출 사회구조로 변화하기 위한 토대를 공고히 하고 있다(주현수, 2010). 소각매립은 이하 소각·매립으로 칭한다.

온실가스의 배출은 소각·매립량의 기술적인 처리에 의해 좌우되므로 부정적 환경 영향을 회피하려면 온실가스 배출 저감을 이룩할 수 있는 관리능력이 확보되어야 한다. 이에 소각과 매립 대비 소각과 매립에서 발생하는 온실가스 발생량을 산정하여 온실가스 관리가 제대로 운용되는지를 평가하려한다.

본 연구에서는 지정폐기물의 온실가스 관리능력을 파악하기 위한 네 번째 지속가능성 평가 지표로서
$$\frac{\text{지정폐기물소각량} + \text{매립량}}{\text{지정폐기물소각매립온실가스발생량}} \quad (\text{이하 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량})$$
을 도입하여 분석하려한다.

소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표의 목적은 다음과 같다.

첫째. 소각·매립온실가스배출량 대비 소각·매립량의 변화 양상을 파악한다.

둘째. 소각·매립량에서 나오는 온실가스 관리능력이 제대로 확보되고 있는지를 파악한다.

본 지표의 의의는 환경적 지속가능성에서 보다 한걸음 진보하여 온실가스 관리능력의 지속가능성을 파악할 수 있는 데에 있다. 소각·매립량에서 발생하는 온실가스를 적절히 관리하지 못하면 부정적인 환경영향이

나타나 지속가능성을 담보할 수 없다. 이에 관리능력 확보와 운용을 파악하여 지속가능한 방향으로 진전되고 있는지 판단할 필요성이 있다.

본 지표를 설명하자면, 소각과 매립량이 증가 추세라도 적절한 관리능력이 작용하여 소각·매립온실가스배출량이 감축으로 이어진다면 지속가능성을 확보할 수 있다. 소각·매립량이 증가하는데 소각·매립의 온실가스 발생량이 현상유지중이거나 감축되는 상태이면 소각·매립량의 증가분이 온실가스 증가로 이어지지 않고 배출단계에서 실질적인 저감이 이루어지는 상태이므로 온실가스 관리능력 측면에서 바람직한 상태로 판단된다. 반대로 소각과 매립량이 감소하는데 소각과 매립 온실가스량이 유지상태이면 감소분이 온실가스 저감으로 이어지지 않고 관리능력 문제로 실질적으로 소각·매립량 당 온실가스 배출량이 증가하는 상태로 볼 수 있다.

3) 폐기물 처리능력 (발생량/이월기타보관량)

다섯 번째 지속가능성 평가지표는 지정폐기물 처리능력의 지속가능성을 평가하기 위한 지표인 $\frac{\text{발생량}}{\text{이월량} + \text{기타} + \text{보관량}}$ 을 선정하였다.(이하 발생량/이월기타보관량)

발생량/이월기타보관량 지표의 목적은 다음과 같다.

첫째, 재활용과 소각·매립량을 포괄하는 폐기물 처리능력이 적절히 작용하여 미처리분인 이월기타보관량이 감소하는 지에 대한 여부를 평가름한다.

둘째, 처리능력은 처리기술과 밀접한 연관이 있으므로 처리기술의 관점이 반영된 지속가능성의 척도를 제시할 수 있다.

본 지표의 의의는 지정폐기물 처리능력의 개념을 도입하여 지속가능성과 부합하는 발전 여부를 보이는 지를 제시할 수 있다는 점에 있다. 지정폐기물 처리능력을 확보하기 위해서는 처리기술 확보가 관건이고 처리기술의 목표는 환경영향 저감에 있으므로 궁극적으로 환경적 지속가능성으로 귀결된다고 볼 수 있다. 처리능력의 한계로 미처리분이 발생하는데 지정폐기물 처리능력의 개선이 없어 계속 미처리분이 쌓여 보관기한의 존재 등으로 인해 한계용량에 이르면 지속가능성을 담보할 수 없게 된다.

본 지표를 설명하자면, 이월량은 전년도에서 미처 처분하지 못하고 보관하던 량이 다음해로 이월된 것으로 당해연도 1월 1일을 기준으로 전년도 보관량이 이월된다. 보관량은 당해년도 지정폐기물 처리 후 남은 량을 보관하는 것이다. 기타는 이들을 제외하고 남은 량이다. 이를 종합해보면 이월기타보관량은 지정폐기물 발생량이 재활용, 소각, 매립으로 처리한 후에도 남은 잔재로서 이들의 증감을 통해 지정폐기물의 처리능력을 파악할 수 있는 조합이다. 해당 지표가 높아지는 것은 재활용, 소각, 매립의 처리능력이 높아져서 미처리분인 이월기타보관량이 감소하는 상태를 의미하므로 지정폐기물 처리능력이 개선되는 것을 시사한다. 또한 발생량이 늘었는데도 이월기타보관량이 유지 상태이면 늘어난 발생량이 이월기타보관 처리되지 않는 것을 보여주며 이는 지정폐기물 처리능력이 높아진다는 것을 시사하고 바람직한 방향으로 판단된다.

4. 경제성 평가지표

1) GDP당 폐기물 발생량 (총생산액/발생량)

GDP는 폐기물의 경제 탄력성과 밀접한 연관이 있으며 폐기물의 발생을 파악하는 표준화된 기준척도로 확립되었다(Sigrid Kusch, 2017). 지정 폐기물의 생산과 GDP를 연관시켜 산업과 지자체의 지정폐기물 발생 기여도를 산정하며 경제 활성화와 자원보존 및 효율성 증진도 평가할 수 있다(Stasiskiene, 2011). Kadleck(2010)는 폐기물 발생량의 변화가 분기별 GDP의 변화의 중요지표이며, GDP가 감소하면 폐기물 총 톤수가 예측가능한 감소세를 보임을 포착했다. GDP를 지역경제에 적용, 공단 지역내 총생산인 GRDP로 분석하는 연구들이 있다(김경환, 2018). 지역내 총생산(Gross Regional Domestic Product : GRDP)란 시·도 단위별 기초통계를 토대로 산정한 해당지역의 부가가치인 종합경제지표이다. GRDP는 사업장별로 추계하며 경제활동의 부가가치 발생수준을 나타낸다. 또한 생산, 분배, 지출을 포괄하는 소득 순환을 통해 지역경제의 현황을 파악하고 지자체의 지역 경제를 상호 비교하여 이를 재정 정책수립의 근거로 활용한다. 이는 지역 산업구조 실태를 포착하고 효율적인 수요방안 수립을 통해 지역 경제구조 파악 및 예측에 활용될 수 있다(김경환, 2018). 이런 GRDP에 장점에서 착안하여 본 연구는 공단별 총생산액 자료를 확보하여 지정폐기물의 발생량과 조합하려 한다. 이에 따라 총생산액/발생량 지표를 도출하고 공단의 경제적 측면에서의 지속가능성의 추세를 포착하려 한다.

따라서 여섯 번째 지속가능성 평가지표는 본 지표 체계의 경제적 지속

가능성을 판단하기 위한 지표로서 총생산액/발생량 지표로 $\frac{\text{총생산액}}{\text{발생량}}$ 을 도입하였다.

총생산액/발생량 지표의 목적은 다음과 같다.

첫째, 생산 활동의 활성화 정도를 총생산액으로 대변하여 발생량에 건주어 지정폐기물 발생량과의 연관성을 도출한다.

둘째, 총생산액이라는 경제적 편익을 경제적 지속가능성의 관점과 결부시켜 파악한다.

본 지표의 의의는 지정폐기물 발생량의 관점에 총생산액이라는 경제적 측면을 접목하여 경제적인 지속가능성을 판별하는 척도를 제시한다는 점에 있다. 지정폐기물의 발생량은 산업 활동의 수준을 보여준다고 할 수 있다. 따라서 지정폐기물의 발생량이 산업 활동의 결과인 총생산액에 미치는 영향을 고찰함으로써 경제적 측면의 지속가능성을 파악하는 데에 기여하는 지표로서 의미가 있다.

표 3-4. 지표 체계

			지표 산정식	유사 지표 연구
자원 순환	발생량 억제	발생량 감축률	$-1 * \frac{\text{당해연도 발생량} - \text{전년도 발생량}}{\text{당해연도 발생량}}$	명수정(2010)
	재활용 증가	재활용량/소각·매립량	$\frac{\text{재활용}}{\text{소각} + \text{매립}}$	Ikhlal(2017) Stasiskiene(2010)
환경	환경영향	1/소각·매립온실가스배출량	$\frac{1}{\text{소각온실가스 발생량} + \text{매립온실가스 발생량}}$	ESI(2005), GRI(2006), EPI
		소각·매립량/소각·매립온실가스배출량	$\frac{\text{지정폐기물 소각량} + \text{매립량}}{\text{지정폐기물 소각매립온실가스 발생량}}$	UNSD(2015)

		발생량/ 이 월 기 타보관	$\frac{\text{발생량}}{\text{이월} + \text{기타} + \text{보관량}}$	
경제		총 생 산 액 /발 생량	$\frac{\text{총 생산액}}{\text{발생량}}$	Stasiskiene(2010)

5. 선정된 지표 평가

본 6개의 지표를 타당성, 신뢰성, 단순성의 지표 평가 요건으로 분석했다. 발생량감축률 지표의 경우 폐기물 협회에서 년마다 제공하는 지정폐기물 발생량 데이터가 있으므로 단순히 자료를 수집가능하다. 연마다 지표 값이 지정폐기물의 발생량에 민감하게 반응하므로 추세의 측면에서는 현상을 반영하는 타당성이 높다. 재활용량/소각·매립량 지표는 재활용과 소각·매립의 변화를 단적으로 보여주므로 현실을 반영하는 타당성이 높고 역시 현황자료가 폐기물협회에서 갱신되므로 자료 수집도 용이하다. 신뢰도측면에서도 단순 나눗셈으로 산정하므로 오류가 없다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표는 지정폐기물의 소각과 매립에서 나오는 온실가스를 따로 산정하여 지정폐기물의 환경영향을 파악하였으므로 타당성이 높다. 자료 수집은 용이하나 계산과정에서 고려해야할 사항들이 많아 단순성이 높지 않다. 지정폐기물 매립 시 발생하는 온실가스 산정방법을 제일 단순한 tier1으로 하여 이산화탄소, 아산화질소를 제외한 메탄만 고려하여 역시 신뢰도도 보통으로 나타난다. 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량지표도 1/소각·매립온실가스 배출량에서 언급한 한계점들이 있다. 발생량/이월기타보관량은 현황을 제대로 반영하여 타당성이 높고 단순 계산이므로 신뢰도도 높고 지정폐기물 발생현황자료에 쉽게 접근

가능하므로 자료 수집 측면에서 또한 용이하다. 총생산액/발생량은 한국
산업단지공단 (www.kicox.or.kr)에서 공단별 총생산액 정보를 제공하고
있어 자료 확보의 용이성이 높고 신뢰도와 타당성에도 문제가 없다.

IV. 결과

1. 시계열 변화 추세

1)공단별 시계열 분석

12공단의 지표별 10개년 시계열 데이터를 $(X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 로 정규화한 후에 회귀분석 하여 이를 취합하여 (표 4-1)로 제시한다. 스케일이 지표마다 다르므로 기울기를 같은 선상에서 비교하기 위해서는 정규화가 필요하다. 기울기가 양수로 나오면 개선, 음수로 나오면 악화로 판별하였다. 95%상한, 하한 구간에 0이 들어있으면 귀무가설에 의해 유의미한 변화가 없는 것으로 판단한다. 충분히 현황을 반영하며 시간적으로도 짧지 않아 시계열 분석이 의미가 있으려면 10개년도와 5개년 전반과 5개년 후반, 셋으로 나누어 보는 것이 최선의 방법이다. 이 세 개의 시계열을 비교하면 10개년도에서는 나타나지 않았던 관리의 특성이 5개년 전반이나 5개년 후반에 나타날 수 있다.

표 4-1. 10년간 시계열 분석 결과

	발생량감축률			재활용량/소각·매립량			1/소각·매립온실가스 배출량			소각·매립량/소각·매립온실가스배출량			발생량/이월기타보관량			총생산액/발생량		
	기 울 기	R^2	95% 상 하 한 값	기 울 기	R^2	95% 상 하 한 값	기 울 기	R^2	95% 상 하 한 값	기 울 기	R^2	95% 상 하 한 값	기 울 기	R^2	95% 상 하 한 값	기 울 기	R^2	95% 상 하 한 값
남동	0.001	0.000	-0.016~ 0.027	0.004	0.134	-0.005~ 0.014	0.021	0.198	-0.014~ 0.056	0.008	0.252	-0.003~ -0.020	0.002	0.052	-0.004~ 0.007	0.015	0.175	-0.012~ -0.041
개선여부	-			-			-			-			-			-		
여수	-0.001	0.015	-0.010~ 0.008	0.005	0.163	-0.004~ 0.015	-0.005	0.73	-0.008~ -0.003	-0.001	0.349	-0.002~ 0.000	0.034	0.677	0.015~ 0.054	-0.033	0.336	-0.071~ -0.005
개선여부	-			-			악화			-			개선			-		
울산	-0.004	0.067	-0.017~ 0.008	0.004	0.267	-0.001~ 0.009	0.005	0.738	0.002~ 0.007	0.010	0.698	0.005~ 0.016	0.009	0.068	-0.007~ 0.025	-0.040	0.470	-0.075~ -0.005
개선여부	-			-			개선			개선			-			악화		
녹산	0.012	0.178	-0.009~ 0.034	0.006	0.046	-0.016~ 0.029	-0.045	0.509	-0.081~ -0.009	-0.015	0.421	-0.030~ -0.001	0.005	0.051	-0.014~ 0.024	-0.001	0.033	-0.007~ 0.005
개선여부	-			-			악화			악화			-			-		
군산	-0.012	0.024	-0.077~ 0.052	0.010	0.321	-0.002~ 0.020	0.002	0.003	-0.027~ 0.031	0.017	0.306	-0.004~ 0.038	0.014	0.666	0.006~ 0.022	-0.021	0.283	-0.048~ 0.006
개선여부	-			-			-			-			개선			-		
창원	0.003	0.033	-0.011~ 0.018	0.016	0.620	0.006~ 0.017	0.011	0.138	-0.012~ 0.034	0.002	0.048	-0.004~ 0.007	-0.014	0.179	-0.216~ 0.059	-0.003	0.028	-0.018~ 0.012
개선여부	-			개선			-			-			-			-		
구미	-0.014	0.159	-0.041~ 0.012	-0.006	0.048	-0.029~ 0.017	-0.002	0.004	-0.022~ 0.019	0.005	0.623	0.002~ 0.008	-0.007	0.535	-0.013~ -0.002	-0.066	0.828	-0.091~ -0.041
개선여부	-			-			-			개선			악화			악화		
아산	-0.025	0.231	-0.061~ 0.012	-0.011	0.224	-0.027~ 0.006	-0.037	0.803	-0.053~ -0.022	0.002	0.201	-0.001~ 0.004	0.001	0.01	-0.007~ 0.009	0.050	0.388	-0.001~ 0.100
개선여부	-			-			악화			-			-			-		

포항	-0.002	0.005	-0.01~ 0.016	0.082	0.822	0.051~ 0.114	0.006	0.123	-0.008~ 0.020	-0.021	0.491	-0.039~ -0.004	-0.006	0.026	-0.039~ 0.026	-0.004	0.299	-0.009~ 0.001
개선여부	-			개선			-			악화			-			-		
반월	0.001	0.006	-0.010~ 0.012	-0.013	0.832	-0.017~ -0.003	-0.005	0.729	-0.008~ -0.003	0.006	0.544	0.001~ 0.010	0.003	0.735	0.001~ 0.004	0.012	0.478	0.002~ 0.022
개선여부	-			악화			악화			개선			개선			개선		
광양	0.047	0.311	-0.010~ 0.105	0.012	0.399	0.000~ 0.024	0.007	0.088	-0.011~ 0.025	0.000	0.000	-0.072~ 0.072	0.037	0.106	-0.050~ 0.124	0.002	0.003	-0.026~ 0.029
개선여부	-			개선			-			-			-			-		
온산	-0.004	0.008	-0.039~ 0.031	-0.005	0.437	-0.011~ -0.000	-0.032	0.501	-0.058~ -0.006	0.037	0.547	0.009~ 0.064	-0.005	0.094	-0.019~ 0.008	-0.060	0.740	-0.089~ -0.031
개선여부	-			악화			악화			개선			-			악화		

(표 4-1)의 회귀분석을 바탕으로 10개년도 기울기로 지속가능성의 개선과 악화를 판단하였다. 기울기에 따라 집단을 세 부류로 나누었다. 집단은 $-0.02 \sim 0.02$ 사이의 낮은 기울기, $-0.02 \sim -0.05$, $0.02 \sim 0.05$ 의 기울기, -0.05 이하 ~ 0.05 이상의 비교적 큰 기울기로 분류했다. 여수공단은 1/소각·매립온실가스배출량이 낮은 기울기로 악화로 나타나고 발생량/이월기타보관량이 개선이 되고 있다. 울산은 1/소각·매립온실가스배출량과 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 낮은 기울기로 개선되고 총생산액/발생량이 악화되고 있다. 녹산은 1/소각·매립온실가스배출량이 악화되었으며 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 작은 기울기로 악화되었다. 군산공단은 낮은 기울기로 발생량/이월기타보관량이 개선되었다. 창원도 재활용량/소각·매립량이 낮은 기울기로 개선되었다. 구미공단은 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표가 낮은 기울기로 개선, 발생량/이월기타보관량 지표가 낮은 기울기로 악화가 되었다. 구미공단의 총생산액/발생량이 비교적 큰 기울기로 악화되었다. 아산공단도 1/소각·매립온실가스배출량이 악화되었다. 포항공단은 재활용/소각·매립량이 비교적 큰 기울기로 개선되었다. 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량은 낮은 기울기로 악화되었다. 반월공단은 재활용/소각·매립량, 1/소각·매립온실가스배출량이 낮은 기울기로 악화되고 또한 낮은 기울기로 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량, 발생량/이월기타보관량, 총생산액/발생량이 개선되고 있다. 광양공단은 재활용량/소각·매립량이 낮은 기울기로 개선되고 있다. 온산공단은 재활용량/소각·매립량이 낮은 기울기로 악화되었다. 1/소각·매립온실가스배출량이 악화되고 총생산액/발생량이 비교적 큰 기울기로 악화되었다. 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 개선되고 있다. 총생산액/발생량이 제일 악화가 많은 지표로 나타난다. 1/소각·매립온실가스배출량이 대체적으로 악화되어 있다.

12공단의 10개년도 전반부인 2009~2013년의 5개년도 시계열 데이터를 정규화한 후에 회귀 분석하여 (표4-2)에 제시한다.

표 4-2. 전반기 5년간 시계열 분석 결과

	발생량감축률			재활용량/소각·매립량			1/소각·매립온실가스 배출량			소각·매립량/소각·매립온실가스배출량			발생량/이월기타보관량			총생산액/발생량		
남동	기 울 기	R^2	9 5 % 상 하 한 값	기 울 기	R^2	9 5 % 상 하 한 값	기 울 기	R^2	9 5 % 상 하 한 값	기 울 기	R^2	9 5 % 상 하 한 값	기 울 기	R^2	9 5 % 상 하 한 값	기 울 기	R^2	9 5 % 상 하 한 값
	-0.004	0.004	-0.116~ 0.108	0.001	0.003	-0.041~ 0.044	0.056	0.222	-0.136~ -0.247	0.025	0.429	-0.028~ -0.078	-0.001	0.007	-0.026~ 0.024	0.041	0.214	-0.102~ -0.194
개선여부	-			-			-			-			-			-		
여수	-0.024	0.678	-0.055~ 0.006	0.019	0.491	-0.016~ 0.054	-0.003	0.302	-0.013~ 0.006	0.000	0.222	-0.001~ 0.002	-0.006	0.040	-0.058~ 0.046	0.058	0.442	-0.062~ -0.178
개선여부	-			-			-			-			-			-		
울산	-0.002	0.002	-0.076~ 0.072	0.008	0.501	-0.007~ 0.023	0.000	0.007	-0.010~ 0.011	0.001	0.020	-0.015~ 0.017	-0.005	0.120	-0.027~ 0.018	0.048	0.353	-0.071~ 0.166
개선여부	-			-			-			-			-			-		
녹산	-0.012	0.066	-0.095~ 0.071	-0.015	0.067	-0.119~ 0.088	-0.065	0.566	-0.169~ 0.039	0.016	0.230	-0.037~ 0.068	-0.023	0.340	-0.081~ 0.035	-0.002	0.020	-0.034~ 0.029
개선여부	-			-			-			-			-			-		
군산	-0.019	0.007	-0.431~ 0.394	0.020	0.250	-0.044~ 0.084	-0.068	0.729	-0.145~ 0.008	-0.024	0.239	-0.101~ 0.054	0.009	0.119	-0.036~ 0.054	0.028	0.120	-0.112~ 0.169
개선여부	-			-			-			-			-			-		
창원	0.008	0.025	-0.084~ 0.100	-0.005	0.143	-0.027~ 0.017	-0.045	0.721	-0.097~ 0.006	-0.010	0.717	-0.022~ 0.002	-0.016	0.047	-0.146~ 0.114	-0.035	0.908	-0.055~ -0.014
개선여부	-			-			-			-			-			악화		

구미	-0.053	0.305	-0.200~ 0.164	-0.062	0.872	-0.106~ -0.018	-0.057	0.722	-0.122~ 0.008	-0.002	0.280	-0.010~ 0.005	-0.018	0.564	-0.046~ 0.011	-0.018	0.169	-0.093~ 0.057
개선여부	-			악화			-			-			-			-		
아산	-0.074	0.301	-0.279~ 0.132	-0.005	0.014	-0.087~ 0.076	-0.061	0.714	-0.132~ 0.010	0.001	0.053	-0.010~ 0.013	0.007	0.079	-0.038~ 0.053	0.047	0.440	-0.050~ 0.143
개선여부	-			-			-			-			-			-		
포항	-0.026	0.314	-0.097~ 0.045	0.140	0.922	0.065~ 0.216	-0.031	0.906	-0.049~ -0.013	-0.073	0.925	-0.110~ -0.035	-0.025	0.766	-0.049~ 0.000	0.003	0.043	-0.025~ 0.032
개선여부	-			개선			악화			악화			-			-		
반월	-0.018	0.479	-0.054~ 0.017	-0.007	0.191	-0.031~ -0.018	-0.010	0.857	-0.018~ -0.003	0.001	0.018	-0.012~ 0.014	0.000	0.000	-0.006~ 0.006	0.032	0.705	-0.006~ 0.069
개선여부	-			-			악화			-			-			-		
광양	-0.021	0.039	-0.212~ 0.170	0.002	0.088	-0.009~ 0.013	0.002	0.010	-0.029~ 0.032	0.183	0.812	0.021~ 0.344	-0.171	0.460	-0.512~ 0.170	-0.027	0.438	-0.084~ 0.029
개선여부	-			-			-			개선			-			-		
온산	-0.077	0.459	-0.230~ 0.077	-0.013	0.522	-0.036~ 0.010	-0.098	0.936	-0.145~ -0.051	0.028	0.307	-0.050~ 0.106	0.027	0.814	0.003~ 0.050	-0.058	0.354	-0.202~ 0.086
개선여부	-			-			악화			-			개선			-		

(표 4-2)의 5개년도 전반부(2009~2013)를 회귀분석 하여 기울기로 지속가능성의 개선과 악화를 판단하였다. 분석한 결과 반월공단의 1/소각·매립온실가스배출량이 낮은 기울기로 악화되었다. 창원에서 총생산액/발생량이 악화되고 구미에서 재활용량/소각·매립량이 비교적 큰 기울기로 악화되었다. 포항공단에서 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 비교적 큰 기울기로 악화된 것으로 볼 수 있다. 포항공단에서 1/소각·매립온실가스배출량은 악화되어 있다. 온산공단도 1/소각·매립온실가스배출량 지표에서 비교적 큰 기울기로 악화된 것으로 파악된다. 온산공단의 발생량/이월기타보관량 지표가 낮은 기울기로 개선되었다. 포항에서 재활용량/소각·매립량이 크게 개선되었다. 광양이 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량에서 높은 기울기로 상대적으로 크게 개선되었다.

12공단의 지표별 후반부 2014~2018의 5개년도 시계열 데이터를 정규화한 후에 회귀분석한 결과를 취합하여 (표 4-3)로 제시한다.

표 4-3. 후반기 5년간 시계열 분석결과

	발생량감축률			재활용량/소각·매립량			1/소각·매립온실가스 배출량			소각·매립량/소각·매립온실가스배출량			발생량/이월기타보관량			총생산액/발생량		
남동	기 울 기	R^2	95 % 상 한 하 한 값	기 울 기	R^2	95 % 상 한 하 한 값	기 울 기	R^2	95 % 상 한 하 한 값	기 울 기	R^2	95 % 상 한 하 한 값	기 울 기	R^2	95 % 상 한 하 한 값	기 울 기	R^2	95 % 상 한 하 한 값
	0.004	0.003	-0.126~ 0.134	0.016	0.429	-0.018~ 0.051	0.053	0.707	-0.010~ 0.117	0.012	0.208	-0.032~ 0.056	0.014	0.851	0.003~ 0.024	-0.002	0.003	-0.080~ -0.076
개선여부	-			-			-			-			개선			-		
여수	-0.002	0.034	-0.019~ 0.016	-0.015	0.555	-0.039~ 0.009	-0.011	0.816	-0.020~ -0.001	-0.003	0.725	-0.006~ 0.000	0.074	0.902	0.029~ 0.120	-0.028	0.165	-0.141~ -0.087
개선여부	-			-			악화			-			개선			-		
울산	-0.019	0.790	-0.036~ -0.001	-0.008	0.465	-0.025~ 0.008	0.008	0.986	0.006~ 0.010	0.024	0.942	0.013~ 0.035	0.000	0.000	-0.093~ -0.094	-0.084	0.898	-0.136~ -0.032
개선여부	악화			-			개선			개선			-			악화		
녹산	0.021	0.128	-0.079~ 0.121	0.035	0.409	-0.042~ 0.113	-0.029	0.063	-0.233~ 0.175	-0.038	0.839	-0.069~ -0.007	0.022	0.165	-0.067~ 0.110	0.026	0.207	-0.014~ 0.025
개선여부	-			-			-			악화			-			-		
군산	-0.004	0.018	-0.063~ 0.054	-0.012	0.935	-0.017~ -0.006	0.052	0.760	-0.002~ 0.106	0.057	0.890	0.020~ 0.094	0.019	0.734	-0.002~ 0.041	-0.012	0.642	-0.028~ 0.004
개선여부	-			악화			-			개선			-			-		

창원	-0.008	0.529	-0.023~ 0.006	0.042	0.959	0.026 -0.058	0.055	0.836	0.010~ 0.100	0.012	0.578	-0.007~ 0.032	-0.011	0.064	-0.091~ 0.069	-0.027	0.617	-0.066~ 0.012
개선여부	-			개선			개선			-			-			-		
구미	0.014	0.746	-0.001~ 0.029	0.040	0.712	-0.007~ -0.086	0.022	0.755	0.000~ 0.044	0.004	0.290	-0.007~ 0.015	0.000	0.001	-0.002~ 0.002	-0.020	0.890	-0.033~ -0.007
개선여부	-			-			개선			-			-			악화		
아산	-0.041	0.645	-0.097~ 0.015	-0.031	0.483	-0.089~ 0.027	-0.056	0.950	-0.079~ -0.032	0.004	0.373	-0.006~ 0.014	0.009	0.697	-0.002~ 0.020	-0.105	0.885	-0.174~ -0.035
개선여부	-			-			악화			-			-			악화		
포항	0.002	0.003	-0.073~ 0.077	0.068	0.414	-0.081~ 0.217	0.033	0.827	0.005~ 0.060	0.006	0.304	-0.010~ -0.021	0.075	0.507	-0.061~ 0.210	0.000	0.029	-0.005~ 0.004
개선여부	-			-			개선			-			-			-		
반월	0.004	0.020	-0.045~ 0.053	-0.013	0.799	-0.024~ -0.001	0.001	0.022	-0.007~ 0.008	0.014	0.665	-0.004~ 0.032	0.004	0.969	0.003~ 0.006	-0.008	0.711	-0.017~ 0.001
개선여부	-			악화			-			-			개선			-		
광양	0.117	0.4	-0.147~ 0.382	0.038	0.619	-0.017~ 0.094	0.054	0.688	-0.013~ 0.121	-0.125	0.676	-0.285~ 0.034	0.004	0.003	-0.139~ 0.147	0.070	0.635	-0.027~ 0.167
개선여부	-			-			-			-			-			-		
온산	0.032	0.419	-0.038~ 0.103	0.004	0.740	-0.000~ 0.009	0.008	0.031	-0.071~ 0.086	0.010	0.016	-0.137~ 0.157	-0.004	0.016	-0.057~ 0.049	-0.013	0.088	-0.090~ 0.064
개선여부	-			-			-			-			-			-		

(표 4-3)의 회귀분석을 바탕으로 5개년도 후반부(2014~2018)의 기울기로 지속가능성의 개선과 악화를 판별하였다. 낮은 기울기로 개선이 된 공단과 지표는 울산공단의 1/소각·매립온실가스배출량과 남동, 반월공단의 발생량/이월기타보관량이다. 개선된 공단과 지표는 울산공단의 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량과 구미, 포항공단의 1/소각·매립온실가스배출량과 창원공단의 재활용량/소각·매립량이다. 비교적 크게 개선된 부분은 여수의 발생량/이월기타보관량, 군산공단의 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량, 창원공단의 1/소각·매립온실가스배출량 등으로 나타난다. 낮은 기울기로 악화된 공단과 지표는 여수공단의 1/소각·매립온실가스배출량, 울산공단의 발생량감축률, 군산공단의 재활용량/소각·매립량, 구미공단의 총생산액/발생량, 반월공단의 재활용량/소각·매립량이다. 총생산액/발생량은 전체적으로 악화되어 있는 것을 파악할 수 있다. 악화된 부분은 녹산공단의 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이다. 아산공단의 총생산액/발생량과 1/소각·매립온실가스배출량, 울산의 총생산액/발생량 지표가 상대적으로 크게 악화된 것으로 나타난다.

2) 소결

10개년도 공단의 지표 별 시계열 회귀분석을 통해 기울기로 지속가능성의 개선과 악화를 파악하였다. 구미와 온산공단이 총생산액/발생량에서 비교적 큰 기울기로 악화된 것으로 나타난다. 울산공단도 총생산액/발생량에서 악화되어있다. 1/소각·매립온실가스배출량이 녹산, 아산, 온산공단에서 악화되어 있다. 반월과 온산공단에서 재활용량/소각·매립량 지표와 녹산, 포항공단에서 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표가 낮은 기울기로 악화되었다. 여수, 반월에서 1/소각·매립온실가스배출량 지표와 구미공단에서 발생량/이월기타보관량 지표가 낮은 기울기로 악화되었다. 악화된 지표가 제일 많은 공단은 온산공단으로 나타난다.

전반부 5개년도 공단의 지표별 시계열 분석결과, 창원에서 총생산액/발생량이 악화되었고 구미에서 재활용량/소각·매립량이 비교적 크게 악화되었다. 포항공단에서 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 기울기가 상대적으로 크게 악화된 것으로 볼 수 있다. 온산공단이 상대적으로 크게 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 악화되었다.

후반부 5개년도 공단의 지표별 시계열 분석결과, 총생산액/발생량은 악화되어 있는 것을 파악할 수 있다. 낮은 기울기로 악화된 공단과 지표는 여수공단의 1/소각·매립온실가스배출량, 울산공단의 발생량감축률, 군산공단의 재활용량/소각·매립량, 구미공단의 총생산액/발생량, 반월공단의 재활용량/소각·매립량이다. 악화된 부분은 녹산공단의 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이다. 상대적으로 크게 악화된 부분은 아산공단의 총생산액/발생량과 1/소각·매립온실가스배출량, 울산공단의 총생산액/발생량 지표로 나타난다.

종합하면 10개년도 회귀분석에서 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 대

체적으로 악화상태인 것으로 나타났다. 발생량/이월기타보관량 지표가 후반부 5개년도에서 개선되는 공단이 많은 편이다. 총생산액/발생량 지표가 세 기간 동안 대체적으로 악화로 나타난다.

2. 공단별 지표 간의 비교

12개 공단의 지표별 평균값을 방사형 그래프로 나타내어 해당 공단이 어느 지표에서 높거나 취약한지를 판별하였다. 지표들 끼리 스케일이 다르므로 같은 선상에서 비교하기 위해 지표별로 모든 공단의 값을 정규화한다음 10년 평균값, 5개년도 전반부 평균값, 5개년도 후반부 평균값을 (표 4-4)에 나타냈다.

표 4-4. 정규화된 지표의 공단별 평균(10개년도, 5개년도 전반, 5개년도 후반)

남동	발생량감축률	재활용량/소각·매립량	1/소각·매립온실가스배출량	소각·매립량/소각·매립온실가스배출량	발생량/이월기타보관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.333	0.124	0.789	0.263	0.051	0.549
5개 전반 평균	0.331	0.116	0.763	0.250	0.051	0.514
5개 후반 평균	0.335	0.131	0.815	0.276	0.052	0.583
여수	발생량감축률	재활용량/소각·매립량	1/소각·매립온실가스배출량	소각·매립량/소각·매립온실가스배출량	발생량/이월기타보관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.310	0.211	0.070	0.029	0.310	0.734
5개 전반 평균	0.304	0.196	0.082	0.031	0.224	0.856
5개 후반 평균	0.316	0.226	0.058	0.028	0.395	0.612
울산	발생량감축률	재활용량/소각·매립량	1/소각·매립온실가스배출량	소각·매립량/소각·매립온실가스배출량	발생량/이월기타보관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.307	0.141	0.020	0.036	0.100	0.762
5개 전반 평균	0.313	0.128	0.008	0.012	0.069	0.880
5개 후반 평균	0.302	0.153	0.032	0.060	0.131	0.645

녹산	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.338	0.338	0.692	0.197	0.138	0.076
5개 전반 평균	0.301	0.326	0.804	0.238	0.120	0.082
5개 후반 평균	0.375	0.350	0.580	0.156	0.156	0.071
군산	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.337	0.129	0.591	0.223	0.114	0.127
5개 전반 평균	0.369	0.099	0.578	0.180	0.080	0.202
5개 후반 평균	0.306	0.160	0.603	0.266	0.148	0.052
창원	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.319	0.184	0.252	0.128	0.200	0.602
5개 전반 평균	0.308	0.145	0.219	0.123	0.234	0.588
5개 후반 평균	0.331	0.223	0.285	0.132	0.167	0.617
구미	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.335	0.502	0.375	0.090	0.027	0.489
5개 전반 평균	0.366	0.514	0.366	0.075	0.045	0.693
5개 후반 평균	0.304	0.491	0.384	0.106	0.010	0.286
아산	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.323	0.280	0.375	0.058	0.042	0.312
5개 전반 평균	0.359	0.302	0.452	0.055	0.045	0.125
5개 후반 평균	0.287	0.258	0.298	0.061	0.038	0.499
포항	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.322	0.574	0.264	0.138	0.144	0.020
5개 전반 평균	0.318	0.386	0.243	0.182	0.185	0.035
5개 후반 평균	0.326	0.762	0.284	0.094	0.102	0.005

반월	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.328	0.217	0.088	0.119	0.024	0.297
5개 전반 평균	0.319	0.251	0.102	0.106	0.017	0.268
5개 후반 평균	0.338	0.183	0.074	0.133	0.031	0.326
광양	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.371	0.033	0.570	0.570	0.475	0.179
5개 전반 평균	0.253	0.009	0.569	0.593	0.286	0.190
5개 후반 평균	0.489	0.056	0.571	0.548	0.663	0.168
온산	발생량감축률	재활용량/소각·매립 량	1/소각·매립온실가 스배출량	소각·매립량/소각· 매립온실가스배출량	발생량/이월기타보 관량	총생산액/발생량
10개년도 평균	0.316	0.050	0.338	0.467	0.091	0.386
5개 전반 평균	0.311	0.065	0.408	0.362	0.117	0.556
5개 후반 평균	0.321	0.036	0.268	0.573	0.064	0.216

(그림 4-1)에 (표 4-4)을 토대로 방사형 그래프를 10개년도, 5개년 전반(2009~2013), 5개년 후반(2014~2018)으로 제시한다.

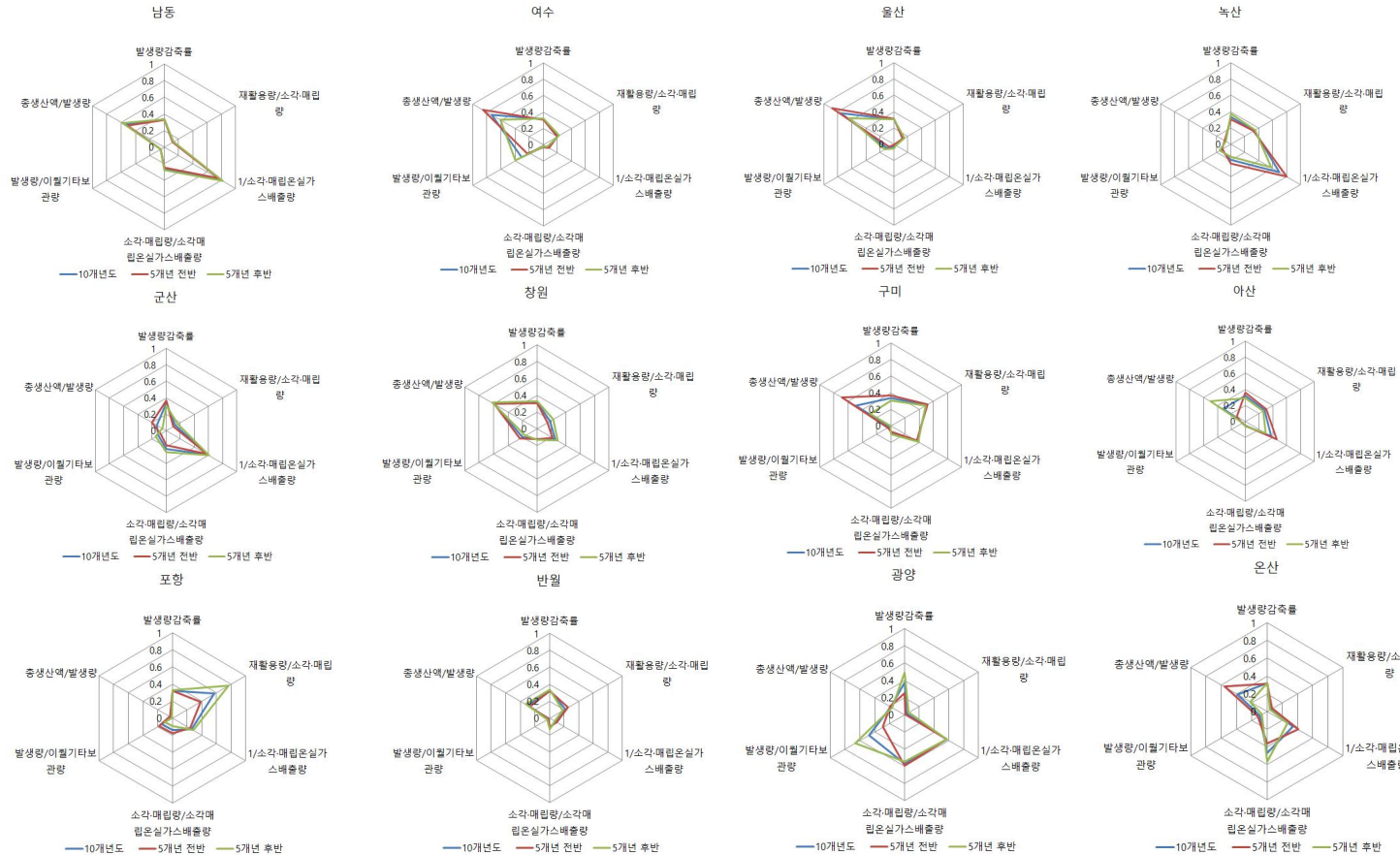


그림 4-1. 공단별 지표 특성

1) 공단의 지표 간 비교

(표 4-4)을 참고하여 (그림 4-1)에서 방사형 그래프 공단별로 지표 간의 높고 낮음을 파악하여 어느 부분에서 지속가능성이 높고 어느 지표가 취약한 지를 판별하였다.

남동공단은 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높은 것을 알 수 있다. 그러나 10개년도 기준으로 재활용량/소각·매립량 지표가 본 지표 값에 15.5%, 발생량/이월기타보관량 지표가 6.3%로 나타나 악화되어있다. 여수공단은 총생산액/발생량 지표가 높다. 여수공단이 취약한 지표는 10개년도 기준으로 1/소각·매립온실가스배출량, 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량으로 각각 총생산액/발생량 값의 9.5%, 3.9%으로 나타난다. 여수공단은 5개년도 후반 들어 총생산액/발생량이 줄었으나 발생량/이월기타보관량은 늘고 있다.

울산공단은 총생산액/발생량 지표가 높고 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 10개년도 기준으로 총생산액/발생량 값의 2.5%으로 나타나 취약하다. 5개년도 후반부 들어서 5개년도 전반부에 비해 총생산액/발생량이 악화되고 있다. 녹산공단은 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높지만 5개년도 후반에 감소하고 발생량감축률이 5개년도 후반부에 들어 늘고 있다. 10개년도 기준으로 총생산액/발생량이 1/소각·매립온실가스배출량 값의 10.1%으로 나타나 악화되어 있다.

군산공단은 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높은 반면 10개년도 기준으로 발생량/이월기타보관량 지표는 1/소각·매립온실가스배출량 지표 값의 19.2%으로 나타나 취약하다. 5개년 전반보다 5개년 후반부에 총생산액/발생량이 더 악화되었지만 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표는 늘어서 개선되고 있다. 창원공단은 총생산액/발생량이 높고 재활

용량/소각·매립량이 5개년 전반부보다 후반부에 소폭 늘고 있다.

구미공단은 5개년 전반부에 총생산액/발생량이 높았지만 5개년 후반에 큰 폭으로 줄었다. 아산공단은 1/소각·매립온실가스배출량이 5개년도 후반에 감소하고 있다. 총생산액/발생량은 5개년도 후반 들어 개선되고 있다.

포항공단은 10개년도 총생산액/발생량 지표가 가장 취약하여 포항공단에서 제일 높은 재활용량/소각·매립량 지표 값의 3.5%으로 나타난다. 대신에 재활용량/소각·매립량이 공단 중에 제일 높게 나타난다. 포항공단은 재활용량/소각·매립량 지표가 5개년 전반부와 5개년 후반부의 차이가 가장 극명하게 나타난다. 5개년 후반부에 크게 증가한 것을 볼 수 있다.

광양공단이 발생량/이월기타보관량에서 5개년도 전반부에 비해 5개년도 후반부에 가장 큰 증가를 보이고 있다. 광양공단은 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량과 발생량/이월기타보관량 지표가 높으나 10개년도 기준으로 재활용량/소각·매립량이 광양공단에서 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표 값의 5.8%으로 나타나 악화되어 있다. 5개년도 후반에 들어 발생량 감축률이 높아지고 있다. 10개년도를 기준으로 온산공단도 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 높으나 재활용량/소각·매립량 지표가 온산공단에서 제일 높은 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표 값의 10.8%으로 나타나 취약하다. 온산공단은 5개년도 후반부에 들어 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 증가하였다. 그러나 총생산액/발생량에서 전반부 5개년도보다 후반부 5개년도가 더 취약하다.

공단의 지표 간 비교를 유형별로 정리하면 발생량감축률 지표가 높은 공단은 광양, 군산, 구미로 철강과 전자계열이었다. 발생량/이월기타보관량 지표와 재활용량/소각·매립량 지표가 낮은 공단은 남동과 온산으로 화학, 중공업 계열이었다. 총생산액/발생량 지표가 높고 1/소각·매립온실

가스배출량 지표가 낮은 공단은 여수, 울산으로 중화학 계열이었다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높고 총생산액/발생량 지표가 낮은 공단은 녹산, 아산으로 중공업, 전자계열이었다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높고 총생산액/발생량 지표가 높은 공단은 창원과 구미로 기계, 전자 계열이었다.

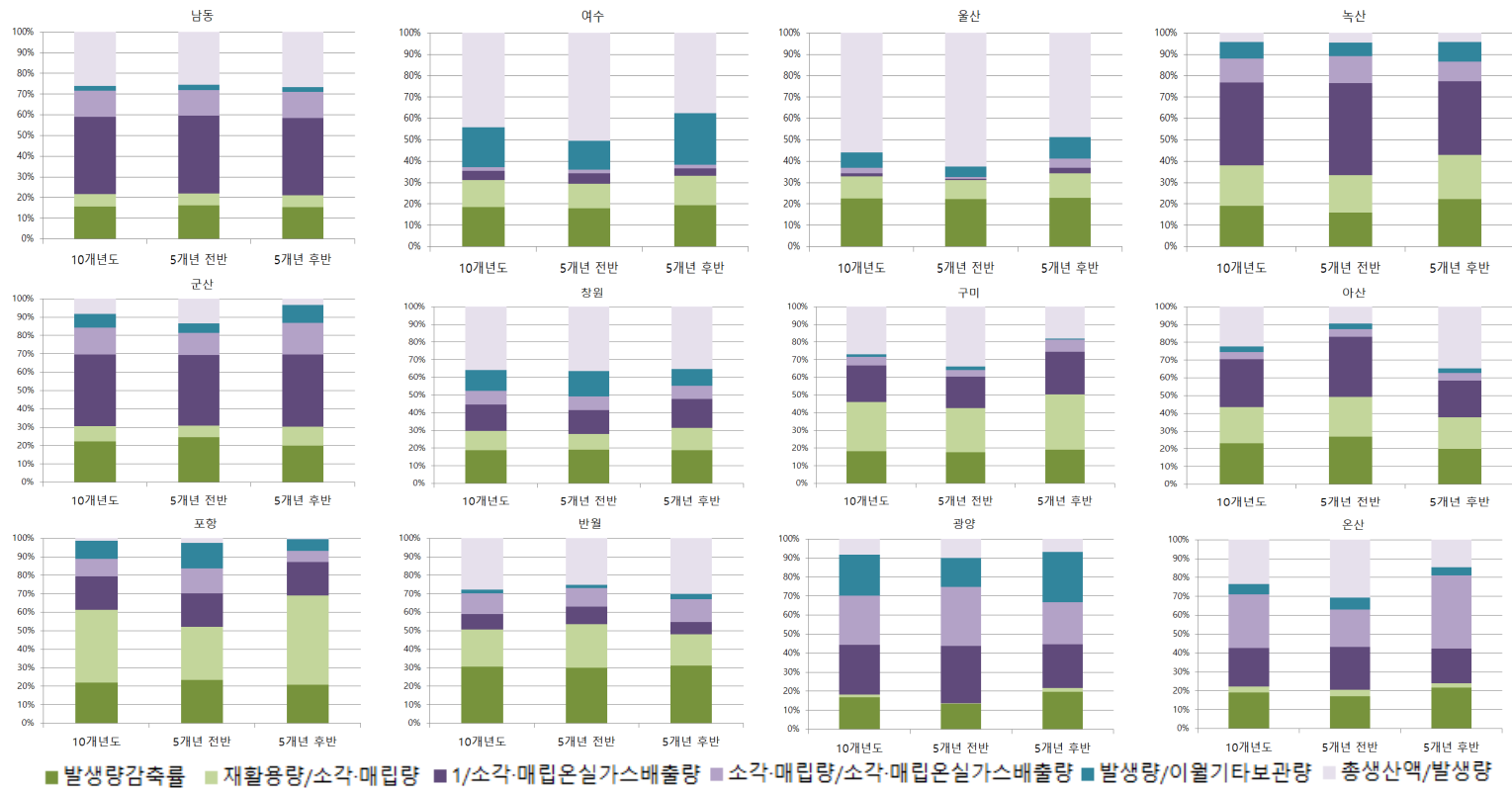


그림 4-2. 공단별 지표 간 비율

(표 4-4)을 참조하여 (그림 4-2)에 각각의 지표가 10개년도, 전반기 5개년도, 후반기 5개년도에 100%를 기준으로 공단별로 얼마큼 점유하고 있는지를 나타내었다. 남동공단은 5개년도 전반, 후반에서 지표들의 비율이 일정하게 유지되고 있다. 여수공단은 후반기 5개년에 총생산액/발생량이 줄고 발생량/이월기타보관량의 점유율이 높아진 것을 볼 수 있다. 울산공단도 마찬가지로 나타난다. 이들 공단의 경제지표가 악화되어 경제적 지속가능성이 떨어지고 있다. 전반기 5개년과 비교하자면 녹산공단은 후반기 5개년에 1/소각·매립온실가스배출량이 줄고 발생량/이월기타보관량이 늘어서 처리능력의 지속가능성이 개선되고 있다. 군산공단은 전반기 5개년에 비해 총생산액/발생량이 줄고 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량과 발생량/이월기타보관량이 늘었다. 이에 따라 두 지표에서 지속가능성이 개선된 것으로 보인다. 창원공단은 후반기 5개년에 발생량/이월기타보관량 지표가 줄어들어 악화되었다. 전반기 5개년에 비해 구미공단은 후반기 5개년에 총생산액/발생량이 줄어서 경제적 지속가능성은 줄었지만 1/소각·매립온실가스배출량과 재활용량/소각·매립량 지표가 늘어서 환경영향과 자원순환 측면은 개선되고 있다. 아산공단은 후반기 5개년에 총생산액/발생량 점유율이 크게 늘고 1/소각·매립온실가스배출량이 줄어들어 경제적 지속가능성은 확보되고 있지만 환경영향 측면의 지속가능성이 낮아지고 있다. 포항공단은 후반기 5개년에 재활용량/소각·매립량이 점유율이 크게 늘어 자원순환 관점의 지속가능성이 높아지고 발생량/이월기타보관량과 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 줄어서 환경영향 측면의 지속가능성이 떨어지고 있다. 반월공단은 후반기 5개년 들어 전반기 5개년에 비해 총생산액/발생량의 점유율이 늘어 경제적으로 지속가능성이 높아지지만 재활용량/소각·매립량이 감소하여 자원순환 관점의 지속가능성이 떨어지고 있다. 광양공단은 후반기 5개년 들어 전반기에

비해 발생량/이월기타보관량이 높아져서 지정폐기물 처리능력 측면의 지속가능성이 높고 있다. 온산공단은 후반기 5개년 들어 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량지표가 점유율이 늘어 온실가스 관리능력이 확보되고 있지만 총생산액/발생량이 5개년 전반에 비해 점유율이 낮아져서 경제적 지속가능성은 낮아지고 있다.

2) 소결

12개 공단의 지표별 값을 시각화하기 위해 정규화로 10개년도 평균과 5개년 전반부 평균, 5개년 후반부 평균값을 방사형 그래프로 나타내었다. 10개년도 평균을 기준으로 분석한 결과 남동공단은 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높은 것을 알 수 있다. 그러나 상대적으로 본 지표보다 재활용량/소각·매립량 지표, 발생량/이월기타보관량 지표가 낮게 나타나 악화되어있다. 여수공단은 총생산액/발생량이 제일 높고 이에 비해 1/소각·매립온실가스배출량, 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표가 취약하게 나타난다. 울산공단은 총생산액/발생량 지표가 높고 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 낮게 나타난다. 녹산공단은 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높으나 총생산액/발생량이 1/소각·매립온실가스배출량보다 크게 악화되어 있다. 군산공단은 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높은 반면 발생량/이월기타보관량 지표는 취약하다. 포항공단은 총생산액/발생량 지표가 취약하게 나타난다. 대신에 재활용량/소각·매립량이 포항공단에서 공단 중에 제일 높게 나타난다. 광양공단은 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량과 발생량/이월기타보관량 지표가 높으나 재활용량/소각·매립량 지표가 악화되어 있다. 온산공단도 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 높으나 재활용량/소각·매립량과 발생량/이월기타보

관량 지표가 낮게 나타나 이 부분에서 취약하다.

유형별로 정리하면 발생량감축률 지표가 높은 공단은 광양, 군산, 구미로 철강과 전자계열이었다. 발생량/이월기타보관량 지표와 재활용량/소각·매립량 지표가 낮은 공단은 남동과 온산으로 화학, 중공업 계열이었다. 총생산액/발생량 지표가 높고 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 낮은 공단은 여수, 울산으로 중화학 계열이었다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높고 총생산액/발생량 지표가 낮은 공단은 녹산, 아산으로 중공업, 전자계열이었다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높고 총생산액/발생량 지표가 높은 공단은 창원과 구미로 기계, 전자 계열이었다.

공단별 지표의 점유율을 보았을 때 전반기 5개년에 비해 후반기 5개년에 크게 달라진 공단은 아산과 포항공단으로 아산의 경우 총생산액/발생량이 크게 늘고 1/소각·매립 온실가스 배출량 지표 상대적으로 크게 줄었다. 포항의 경우 재활용량/소각·매립량이 크게 늘고 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표가 줄었다.

3. 공단 간 지표 비교

평가지표별 공단 간 비교분석을 수행하였다. 평가지표별 공단 간 비교에서는 비모수 검정을 실시하여 공단 간의 유의한 차이를 살펴보았다. 데이터의 특성상 정규성을 담보할 수 없기 때문에 비모수 Kruskal Wallis 검정을 적용하였다. Kruskal Wallis 검정에서 10개년도의 12개 공단집단이므로 각 지표별로 최소 순위는 1이 되고 최대 순위는 120이 된다. 데이터를 크기 순으로 정렬하고 가장 작은 값부터 오름차순으로 순위를 매긴 뒤, 이를 공단별로 합산한 후에 공단별 시계열 데이터 수인

10으로 나누어 평균 순위를 도출하게 된다. 평균순위를 토대로 지표별로 공단의 순위를 도출하여 (표 4-6)에 제시하였다. 그리고 지표별로 공단의 평균값 그래프를 도입하여 순위에 해당하는 실제 값을 나타내었다.

그래프 상으로 공단간의 10개년도 평균의 차이가 최대 15배 이상 나는데 평균값, 중앙값, 순위, minmax 정규화, quantile 정규화를 모두 시도하였을 때 동일한 패턴으로 공단간의 차이가 나타난 것을 볼 수 있었다. 공단간의 차이가 크다는 명확한 기준은 없지만 15배 이상 나는 것을 많이 차이가 난다고 보았을 때 모든 공단에 강력한 규제가 적용된다면 이에 부응하여 공단간의 관리 부분의 차이가 크지 않을 것이다. 지정폐기물 인·허가, 처리, 운반에 관한 자세한 규정이 있지만 지정폐기물 운반 및 처리 업체에 국한된 부분이므로 공단 자체의 지정폐기물 관리와는 괴리가 있다. 또한 연구의 시간 범위 내에 (지정)폐기물 발생억제 준수 의무자 제도(제 9조 관련)를 제외하고 모든 공단에 지정폐기물 관리에 대한 별도의 강한 규제가 적용되고 있지 않았다(폐기물 관리법 시행령; 산업집적법). 공단의 지정폐기물 관리의 개선을 주도하는 것은 공단의 재량이기 때문에 개선에 동참하는 공단과 아닌 공단 간 지정폐기물 관리의 차이가 크게 날 수 있다. 자원순환기본법과 1차 계획이 확립되었지만 2018년부터 실행된 것이기 때문에 현 시간적 범위 상에 제대로 고려가 되어있지 않다. 배출권거래제도도 공단에서 할당업체가 많은 공단과 할당업체가 적은 공단사이에 차이가 나타날 수밖에 없다. 중소기업이 입주해있는 규모의 공단들은 업종이 다양하고, 지정폐기물 발생 분야가 다르기 때문에 공단마다 지정폐기물 관리에서 차이가 크게 나타난다.(윤정목, 2002). 결국 발생량감축률 지표를 제외하면 공단 간 관리의 지표의 차이가 많이 날 수 있다.

1) 발생량 감축률

표 4-5. 공단별 발생량 감축률 (단위 ton/ton)

연도	남동	여수	울산	녹산	군산	창원	구미	아산	포항	반월	광양	온산
2009	-0.044	0.088	-0.084	0.046	0.197	0.096	0.473	0.550	0.147	0.080	0.202	0.431
2010	-0.018	-0.067	0.110	-0.125	-0.178	-0.193	-0.143	-0.203	-0.151	-0.027	-0.203	-0.038
2011	0.237	-0.063	-0.075	0.046	-0.184	-0.179	0.095	0.236	0.023	-0.023	-0.402	-0.122
2012	-0.223	-0.109	-0.166	-0.245	1.037	-0.011	-0.180	-0.370	-0.006	-0.124	-0.406	-0.427
2013	0.025	-0.098	0.038	0.003	-0.571	0.073	0.037	0.004	-0.148	-0.029	0.125	-0.033
2014	-0.059	-0.021	0.012	0.063	-0.101	0.032	-0.111	0.005	-0.134	0.045	0.002	-0.068
2015	0.025	-0.056	-0.049	-0.046	0.102	-0.019	-0.076	-0.008	0.088	-0.008	0.250	-0.050
2016	0.206	0.011	-0.031	0.176	-0.107	0.025	-0.014	0.061	0.111	-0.036	-0.043	-0.145
2017	-0.289	-0.035	-0.058	-0.112	-0.087	-0.027	-0.048	-0.209	-0.106	-0.077	-0.017	-0.054
2018	0.131	-0.047	-0.143	0.276	-0.043	-0.035	-0.006	-0.244	-0.019	0.112	1.142	0.211
10년평균 값	-0.001	-0.040	-0.045	0.008	0.007	-0.024	0.003	-0.018	-0.019	-0.009	0.065	-0.030
5년전반	-0.005	-0.050	-0.035	-0.055	0.060	-0.043	0.056	0.043	-0.027	-0.025	-0.137	-0.038
5년후반	0.003	-0.030	-0.054	0.071	-0.047	-0.005	-0.051	-0.079	-0.012	0.007	0.267	-0.021

지표별로 Kruskal-Wallis 비모수 검정을 실시하였다. 이로써 나타난 지표별 공단 순위를 (표 4-6)에 제시하였다.

표 4-6. 지표별 공단 순위

	발생량 감축률	재활용/ 소각·매립 량	1/소각·매 립온실가 스배출량	소각·매립 량/소각·매 립온실 가스배출 량	발생량/ 이월기타 보관량	총생산액/ 발생량
1위	녹산	구미	남동	온산	여수	울산
2위	남동	포항	녹산	광양	광양	여수
3위	반월	녹산	군산	남동	창원	창원
4위	광양	아산	광양	군산	녹산	남동
5위	창원	반월	구미	녹산	군산	구미
6위	포항	여수	아산	창원	포항	온산
7위	구미	창원	온산	반월	울산	반월
8위	아산	울산	포항	포항	온산	아산
9위	여수	군산	창원	구미	남동	광양
10위	울산	남동	반월	아산	아산	군산
11위	온산	온산	여수	울산	반월	녹산
12위	군산	광양	울산	여수	구미	포항
카이제곱	3.709	99.153	104.042	99.343	72.083	91.062
유의확률	0.978	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(표 4-6)를 참조하면 발생량감축률 지표의 평균 순위 비모수 검정통계량인 카이제곱은 3.709이고 근사 유의확률은 0.978로써 공단별 평균 순위에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 즉 지정폐기물의 전년 대비 발생량 감축률 지표의 순위에서 공단 간 차이가 유의하지 않은 것이다. 이러한 결과는 공단별 발생량감축률 지표 값의 표준편차가 커서 범위가 겹치기 때문에 순위 간 차이가 분별되지 않은 탓으로 보인다. 이처럼 발생량감축률 지표에서 공단 간 차이 없이 나타난 이유는 지정폐기

물 발생의 원천감량이 국가정책방침으로 강조되는 사항이어서 각 공단에
서 이에 부응하기 위한 조치를 취하기 때문인 것으로 보인다. 따라서 대
부분의 공단지역에서 지정폐기물 발생의 원천감량을 위한 노력이 이루어
지고 있으며, 이에 따라 자원순환 관점의 지속가능성을 제고하려는 시도
들은 공통적인 양상인 것으로 파악된다.

2) 재활용량/소각·매립량

표 4-7. 공단별 재활용량/소각·매립량 (단위 ton/ton)

연도	남동	여수	울산	녹산	군산	창원	구미	아산	포항	반월	광양	온산
2009	0.97	1.77	1.08	2.30	1.02	1.56	6.24	2.91	1.66	2.21	0.21	0.75
2010	1.54	1.57	1.04	4.07	0.65	1.50	4.79	3.50	1.88	2.64	0.07	0.80
2011	0.65	1.50	1.36	3.73	0.60	1.09	4.53	1.87	2.76	2.45	0.10	0.96
2012	1.24	1.88	1.40	2.53	0.62	1.37	4.22	2.49	5.00	2.27	0.11	0.45
2013	1.18	2.46	1.26	2.39	1.94	1.40	3.73	3.18	6.43	2.10	0.28	0.33
2014	1.19	2.48	1.44	2.88	1.77	1.45	3.95	2.93	7.00	1.97	0.19	0.34
2015	1.06	2.30	1.68	2.77	1.59	1.49	4.05	3.18	5.59	1.90	0.18	0.37
2016	0.81	1.78	1.55	3.30	1.45	2.12	4.55	1.75	5.43	1.57	0.31	0.35
2017	1.53	2.05	1.39	2.61	1.40	2.49	4.29	1.97	7.57	1.61	0.40	0.41
2018	1.68	1.95	1.21	4.54	1.34	2.84	5.62	2.16	9.08	1.56	1.81	0.51
10년평균 값	1.19	1.97	1.34	3.11	1.24	1.73	4.60	2.59	5.24	2.03	0.37	0.53
5년전반	1.12	1.83	1.23	3.01	0.96	1.38	4.70	2.79	3.55	2.33	0.15	0.66
5년후반	1.25	2.11	1.45	3.22	1.51	2.08	4.49	2.40	6.94	1.72	0.58	0.40

(표 4-7)을 참조하여 공단 간 재활용량/소각·매립량 지표의 10개년도 평균값을 나타낸 결과는 다음 (그림 4-3)과 같다.

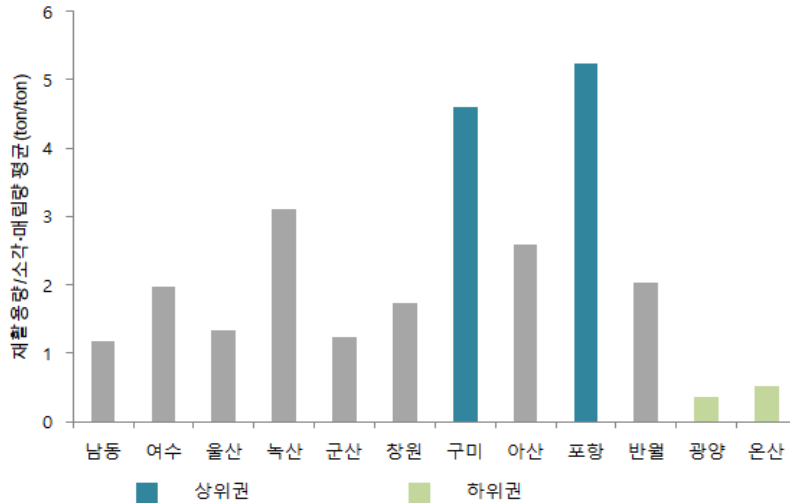


그림 4-3. 공단별 재활용량/소각·매립량

지정폐기물의 재활용량/소각·매립량 지표의 공단 간 순위차이의 유의성을 검정하기 위해서 Kruskal-Wallis 비모수 검정을 실시하여 지표별 공단 간 순위를 나타내었다 (표 4-6). 이 지표의 평균순위 비모수 검정통계량인 카이제곱은 99.153이고 근사 유의확률은 0.000으로써, 공단별 평균순위에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 구미, 포항 공단이 상위권을 차지하여 자원순환 지속가능성이 상대적으로 높고 광양, 온산공단이 하위권을 차지하여 지속가능성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. Kruskal wallis 순위는 구미가 더 높지만 평균값은 포항이 더 높은 것을 알 수 있다. 이는 포항에 높은 값들 때문에 평균이 과대평가되었기 때문이다. Kruskal wallis는 순위이므로 상한선이 있어 높은 값들의 영향이 제어된다. 구미, 포항 공단이 지정폐기물의 소각·매립량보다

는 재활용률이 높아서 재활용을 장려하고 소각·매립을 지양하는 자원순환 관점의 정책방침에 부합하는 것으로 파악된다. 반대로 광양과 온산공단은 철강, 중화학 업종으로 지정폐기물의 재활용률이 낮거나 소각·매립량이 많아서 자원순환 관점의 정책방침에 역행하는 것으로 나타나고 있다. 광양, 온산공단에서 자원순환 관점의 지속가능성을 제고하기 위해서 재활용 확대 및 소각·매립량 저감을 위한 체계적인 노력이 요구된다고 할 수 있다. 광양과 온산공단은 제일 높은 포항공단에 비해 93%, 90% 낮은 수준으로 나타난다.

3) 1/소각·매립온실가스배출량

표 4-8. 공단별 1/소각·매립온실가스배출량 (단위 10^{-6} /tCO₂)

연도	남동	여수	울산	녹산	군산	창원	구미	아산	포항	반월	광양	온산
2009	2.95	0.85	0.31	5.23	5.04	2.44	3.57	4.13	2.17	0.97	3.86	3.96
2010	5.86	0.74	0.27	6.30	3.79	1.65	2.35	3.05	1.92	0.93	3.52	3.04
2011	5.48	0.71	0.28	5.28	3.50	1.25	2.37	2.78	1.59	0.94	3.62	3.10
2012	4.94	0.72	0.40	4.69	3.08	1.31	2.04	2.33	1.50	0.80	3.61	1.99
2013	5.10	0.76	0.26	4.08	3.33	1.24	2.00	2.65	1.45	0.73	3.87	1.53
2014	4.16	0.77	0.35	4.53	3.50	1.34	2.26	2.84	1.63	0.74	3.41	1.49
2015	5.10	0.69	0.40	3.91	3.60	1.37	2.52	2.34	1.87	0.65	3.11	2.45
2016	5.55	0.53	0.45	3.79	3.49	2.32	2.65	1.88	1.72	0.68	3.56	1.73
2017	5.58	0.56	0.51	1.92	4.11	2.38	2.53	1.83	2.19	0.73	3.70	1.56
2018	5.53	0.51	0.54	4.66	4.82	2.50	2.92	1.41	2.46	0.72	4.75	2.17
10년평균 값	5.03	0.68	0.38	4.44	3.83	1.78	2.52	2.52	1.85	0.79	3.70	2.30
5년전반	4.87	0.76	0.30	5.11	3.75	1.58	2.47	2.99	1.73	0.87	3.70	2.72
5년후반	5.18	0.61	0.45	3.76	3.90	1.98	2.58	2.06	1.97	0.70	3.70	1.88

(표 4-8)을 참조하여 공단 간 1/소각·매립온실가스배출량 지표의 10개년도 평균값을 나타낸 결과는 다음 (그림 4-4)와 같다.

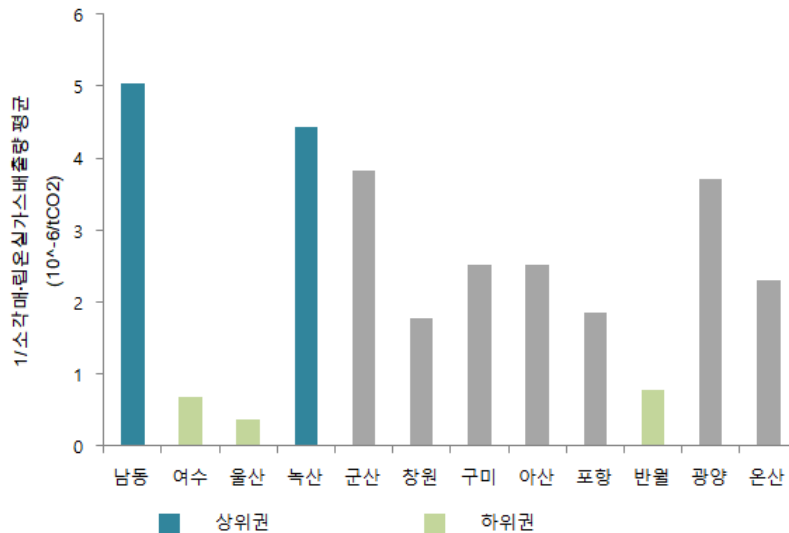


그림 4-4. 공단별 1/소각·매립온실가스배출량

1/소각·매립온실가스배출량 지표의 공단 간 순위차이의 유의성을 검정하기 위하여 Kruskal-Wallis 비모수 검정을 실시하여 지표별 공단 간 순위를 나타내었다 (표 4-6). 이 지표의 평균순위 비모수 검정통계량인 카이제곱은 104.042이고 근사 유의확률은 0.000로써 공단별 평균순위에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 10개년도 평균 결과, 지정폐기물의 소각·매립량으로 인한 온실가스 발생 수준이 낮아서 환경영향 지속가능성의 관점에서 바람직한 양상을 보이는 공단들은 남동, 녹산공단으로 나타나고 있다. 이에 반해서 울산, 여수, 반월공단의 지정폐기물 관리의 환경영향 측면의 지속가능성은 부정적이다. 여수, 울산, 반월공단은 지정폐기물의 소각·매립량으로 인한 온실가스 발생량이 매우 큰 것으로 나타나는 바, 이는 중화화단지 등 지정폐기물의 대량발생이

큰 대규모 공업단지가 갖는 특성으로 보인다. 이에 따라 이들 대규모 공단지역에서는 온실가스 저감을 통해 환경영향 측면의 지속가능성을 제고할 필요성이 있다. 여수, 울산, 반월은 각각 제일 높은 남동공단보다 86%, 92%, 85% 낮게 나타난다.

4) 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량

표 4-9. 공단별 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 (단위 ton/tCO2)

연도	남동	여수	울산	녹산	군산	창원	구미	아산	포항	반월	광양	온산
2009	0.089	0.037	0.031	0.127	0.103	0.088	0.061	0.051	0.159	0.074	0.131	0.179
2010	0.133	0.037	0.025	0.114	0.122	0.076	0.053	0.041	0.153	0.061	0.163	0.144
2011	0.160	0.038	0.024	0.098	0.142	0.083	0.056	0.046	0.095	0.069	0.272	0.151
2012	0.137	0.038	0.038	0.155	0.056	0.071	0.056	0.051	0.056	0.072	0.456	0.229
2013	0.141	0.037	0.027	0.140	0.085	0.068	0.055	0.048	0.051	0.071	0.380	0.198
2014	0.114	0.038	0.033	0.129	0.104	0.070	0.062	0.050	0.055	0.073	0.366	0.203
2015	0.151	0.038	0.038	0.112	0.105	0.069	0.075	0.044	0.072	0.067	0.271	0.348
2016	0.156	0.034	0.045	0.085	0.122	0.092	0.068	0.047	0.061	0.082	0.290	0.289
2017	0.158	0.035	0.057	0.059	0.160	0.088	0.071	0.056	0.064	0.096	0.290	0.236
2018	0.137	0.034	0.075	0.072	0.201	0.087	0.072	0.053	0.070	0.088	0.086	0.281
10년평균 값	0.137	0.037	0.039	0.109	0.120	0.079	0.063	0.049	0.084	0.075	0.270	0.226
5년전반	0.132	0.037	0.029	0.127	0.102	0.077	0.056	0.048	0.103	0.070	0.280	0.180
5년후반	0.143	0.036	0.050	0.091	0.139	0.081	0.070	0.050	0.064	0.081	0.261	0.272

(표 4-9)을 참조하여 공단 간 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표의 10개년도 평균값을 나타낸 결과는 다음 (그림 4-5)와 같다.

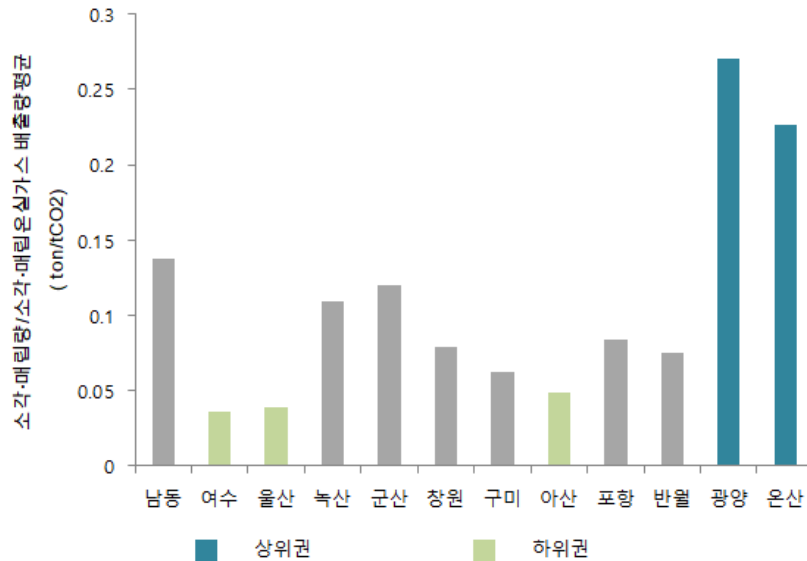


그림 4-5. 공단별 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량

지정폐기물의 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표의 공단 간 차이의 유의성을 확인하기 위해서 Kruskal-Wallis 비모수 검정을 실시하여 지표별 공단 간 순위를 나타내었다(표 4-6). 평균순위 비모수 검정통계량인 카이제곱은 99.343이고 근사 유의확률은 0.000으로써, 공단별 평균 순위에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타난다. 10개년도 평균 결과, 광양, 온산공단이 상위권으로 나타나며 여수, 울산, 아산공단이 하위권 공단으로 파악되었다. Kruskal wallis 순위에서 온산공단이 1위인데 광양이 평균값은 1위를 기록하고 있다. 이는 광양공단에 높은 값이 있어서 평균값이 과대평가되었기 때문이다. 광양공단과 온산공단은 지정폐기물의 소각·매립량에 비해서 소각·매립온실가스배출량이 상대적으로 적은 지역으로서 소각·매립온실가스관리능력이 확보되고 있는 것으로 이

해된다. 반대로 여수와 울산, 아산공단은 종합화학, 중공업 계열로 온실가스를 상대적으로 다량 배출하고 있어서 온실가스 관리능력이 충분하지 않은 것으로 파악된다. 온실가스 저감을 범국가적인 책무로 규정하고 있는 정부의 방침에 따르면, 지정폐기물의 소각·매립량에서 발생하는 온실가스의 관리능력을 충분히 확보해야할 필요성이 있다. 여수, 울산, 아산은 제일 높은 광양공단 보다 87%, 86%, 82% 낮게 나타난다.

5) 발생량/이월기타보관량

표 4-10. 공단별 발생량/이월기타보관량 (단위 ton/ton)

연도	남동	여수	울산	녹산	군산	창원	구미	아산	포항	반월	광양	온산
2009	14.61	65.54	23.53	35.74	11.67	68.27	25.49	18.74	52.11	6.56	240.63	19.64
2010	8.83	52.21	17.30	32.22	26.01	65.35	7.31	1.99	56.88	4.76	25.76	16.50
2011	22.38	54.16	17.99	38.69	25.81	67.29	17.38	1.60	46.93	6.44	21.79	31.49
2012	11.35	39.16	10.46	40.31	8.67	9.30	6.52	21.80	44.54	4.25	26.98	41.10
2013	12.00	65.21	21.47	4.62	31.08	77.56	4.86	17.50	28.97	6.88	35.17	39.21
2014	6.92	65.04	10.48	47.46	23.40	66.50	3.95	6.74	7.58	7.20	137.28	28.66
2015	8.75	78.94	50.17	12.08	34.25	19.92	4.19	7.59	8.65	7.98	161.23	3.51
2016	17.24	81.11	55.62	25.04	41.12	34.94	3.50	9.84	8.73	8.79	181.88	23.02
2017	18.17	123.82	24.06	61.81	45.15	45.71	3.43	16.68	8.37	9.66	195.42	7.05
2018	18.68	131.63	23.79	48.30	41.15	40.04	4.37	13.01	97.04	11.34	124.86	22.45
10년평균 값	13.89	75.68	25.49	34.63	28.83	49.49	8.10	11.55	35.98	7.39	115.10	23.26
5년전반	13.83	55.26	18.15	30.31	20.65	57.55	12.31	12.33	45.89	5.78	70.07	29.59
5년후반	13.96	96.11	32.82	38.94	37.01	41.42	3.89	10.77	26.07	8.99	160.13	16.94

(표 4-10)을 참조하여 공단 간 발생량/이월기타보관량 지표의 10개년도 평균값을 나타낸 결과는 다음 (그림 4-6)와 같다.

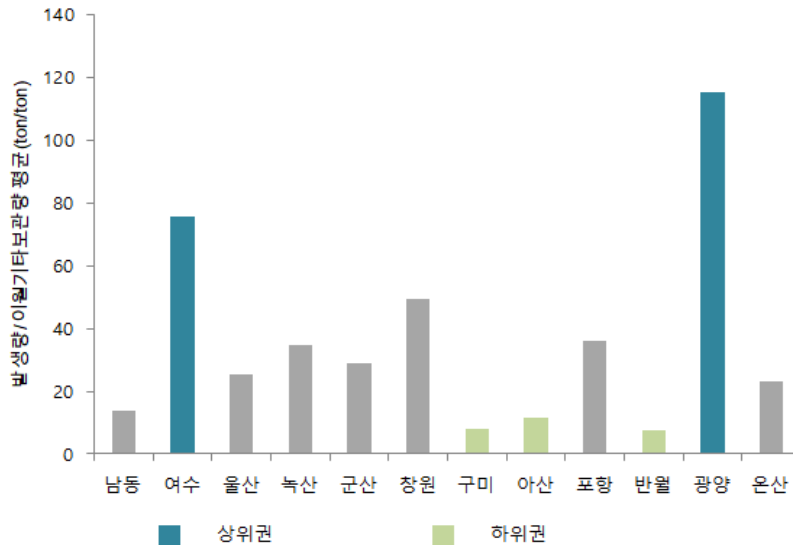


그림 4-6. 공단별 발생량/이월기타보관량

지정폐기물의 발생량/이월기타보관량 지표의 공단 간 차이의 유의성을 확인하기 위해서 Kruskal-Wallis 비모수 검정을 실시하여 지표별 공단 간 순위를 나타내었다(표 4-6). 이 지표의 평균순위 비모수 검정통계량인 카이제곱은 72.083이고 근사 유의확률은 0.000으로써 공단별 평균 순위에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. Kruskal wallis 순위로는 꾸준히 높은 값을 보이는 여수가 1위이지만 광양이 높은 값이 있어서 과대평가되어 10개년도 평균값에서는 광양이 1위를 기록하고 있다. 10개년도 평균 결과, 여수, 광양공단이 상위권을 기록하고 구미, 반월, 아산공단이 하위권으로 분류되었다. 여수, 광양 등의 공단은 지정폐기물 발생량에 비해서 이월기타보관량이 상대적으로 적어 재활용, 소각·매립량 등의 지정폐기물 처리능력이 확보되어 있음을 보여준다. 구미, 반

월, 아산 등의 공단은 연탄, 시멘트 등의 포장재료 및 전자의 업종으로 발생량 대비 재활용이나 소각·매립량 등의 지정폐기물 처리능력이 작아 지속가능성이라는 관점에서 바람직하지 않다. 구미, 반월, 아산 공단지역의 경우에는 생산 활동으로 인해 지정폐기물 발생량이 크게 늘어 처리능력이 낮아 미처리분의 발생으로 이어질 소지가 있어 지속가능성을 제고하기 위해 처리능력을 확장할 필요가 있다. 구미, 아산, 반월은 제일 높은 광양공단보다 각각 94%, 90%, 93% 낮게 나타난다.

6) 총생산액/발생량

표 4-11. 공단별 총생산액/발생량 (단위 백만원/ton)

연도	남동	여수	울산	녹산	군산	창원	구미	아산	포항	반월	광양	온산
2009	266	443	455	94	130	458	481	99	68	154	186	389
2010	332	548	608	100	144	431	461	92	57	208	169	449
2011	495	656	659	130	153	396	542	119	89	241	220	509
2012	346	633	607	94	313	378	442	82	89	229	144	324
2013	382	576	600	89	131	379	435	245	61	240	117	276
2014	381	530	575	97	88	449	254	522	55	261	80	240
2015	409	377	480	83	104	450	239	360	58	251	139	172
2016	474	364	407	93	83	420	213	365	51	251	124	138
2017	369	424	391	86	73	441	215	287	54	238	126	152
2018	395	423	364	113	67	372	205	239	56	245	298	211
10년평균 값	385	497	515	98	128	417	349	241	64	232	160	286
5년전반	364	571	586	101	174	408	472	127	73	214	167	389
5년후반	406	424	443	94	83	426	225	355	55	249	153	183

(표 4-11)을 참조하여 공단 간 총생산액/발생량 지표의 10개년도 평균값을 나타낸 결과는 다음 (그림 4-7)와 같다.

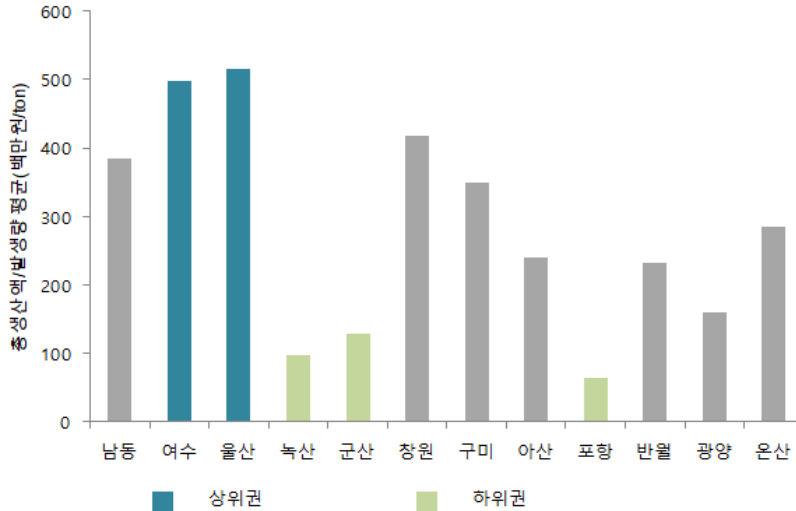


그림 4-7. 공단별 총생산액/발생량

지정폐기물의 총생산액/발생량 지표의 공단 간 차이의 유의성을 확인하기 위해서 Kruskal-Wallis 비모수 검정을 실시하여 지표별 공단 간 순위를 나타내었다 (표 4-6). 이 지표의 평균순위 비모수 검정통계량인 카이 제곱은 91.062이고 근사 유의확률은 0.000으로써 공단별 평균 순위에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 10개년도 평균 결과, 울산, 여수공단이 상위권을 기록하고 포항, 녹산, 군산공단이 하위권으로 분류되었다.

울산, 여수 공단은 지정폐기물 발생량에 비해 총생산액 규모가 상대적으로 높은 경우로 파악되며 이에 본 지표에서 높은 순위를 보이고 있다. 이에 반해 군산과 녹산공단은 지정폐기물 발생량 대비 총생산액 규모가 작고 포항공단은 총생산액 규모에 비해 지정폐기물 발생량이 매우 커서

본 지표에서 낮은 순위를 기록하는 것으로 보인다. 이에 따라 울산, 여수 공단에서 발생량 대비 지정폐기물 관리의 경제적 지속가능성이 상대적으로 높고 포항, 녹산과, 군산공단은 철강, 기계 등의 업종으로 지정폐기물 관리의 경제적 지속가능성이 상대적으로 낮은 것으로 판단된다. 포항, 녹산, 군산공단은 각각 제일 높은 울산공단에 비해 88%, 81%, 75% 낮게 나타난다.

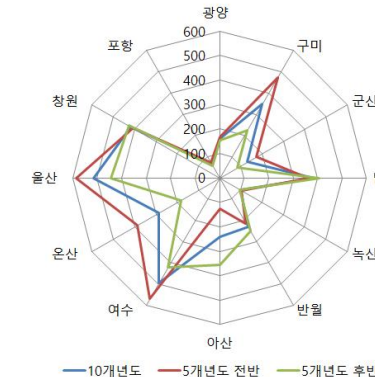
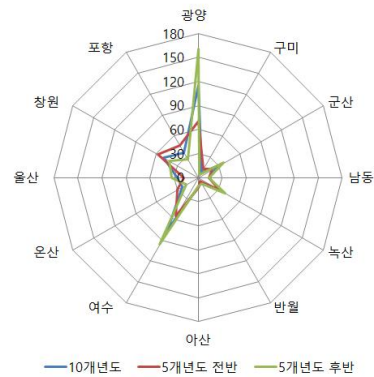
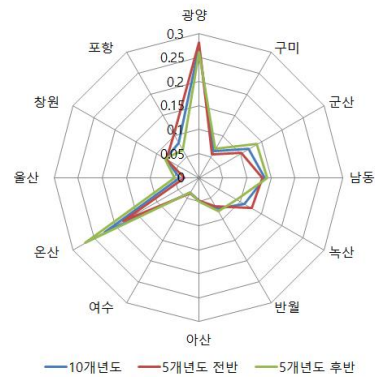
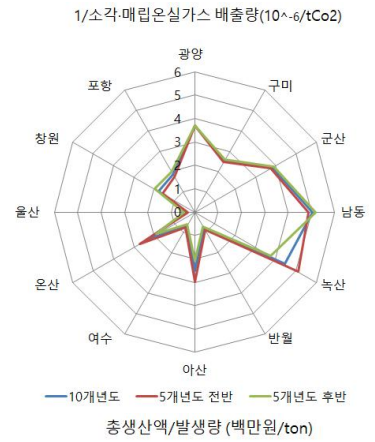
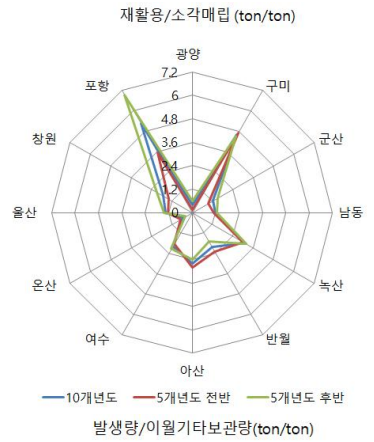
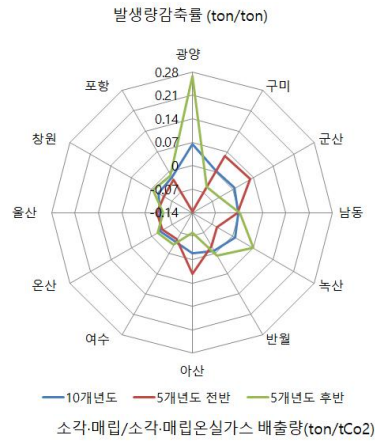


그림 4-8. 지표 별 공단 간 세 기간 비교

(표 4-5), (표 4-7),(표 4-8),(표 4-9),(표 4-10),(표 4-11)를 참고하여 (그림 4-8)을 도출했다. 발생량감축률 지표는 광양과 녹산공단이 후반기 5개년에 들어 증가한 것을 볼 수 있다. 후반기 5개년을 기준으로 광양공단이 제일 값이 높아서 상대적으로 자원순환 관점의 지속가능성이 확보되고 있다. 구미와 아산, 군산공단은 전반기 5개년에 비해 후반기 5개년에 들어 감소하여 지속가능성이 떨어지고 있다. 재활용량/소각·매립량 지표는 포항이 후반기 5개년에 들어 증가하고 있다. 이에 비해 포항공단과 함께 전반기 5개년에 같이 값이 높았던 구미는 변동이 거의 없다. 반월공단이 전반기 5개년에 비해 후반기 5개년에 감소하여 자원순환 측면의 지속가능성이 떨어지고 있다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표는 남동과 녹산공단에서 높게 나타나는데 녹산공단은 후반기 5개년에 감소하였다. 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표는 광양과 온산공단이 높게 나타나 상대적으로 온실가스 관리능력이 확보되고 있다. 군산이 후반기 5개년에 개선되었다. 녹산공단이 전반기 5개년에 비해 후반기 5개년이 더 악화되고 있다. 발생량/이월기타보관량 지표는 광양과 여수가 후반기 5개년에 상대적으로 높은 값을 기록하고 있어서 지정폐기물 처리 능력과 관계된 지속가능성이 높아지고 있다. 포항, 창원공단이 전반기 5개년에 비해 후반기 5개년에 악화된 것을 볼 수 있다. 총생산액/발생량 지표는 구미가 후반기 5개년 들어 크게 감소하고 울산, 온산, 여수공단도 마찬가지이다. 이로서 경제적 지속가능성이 저하되고 있다. 아산공단이 후반기 5개년에 개선되었다.

7) 소결

Kruskal-Wallis 비모수 검정을 실시하여 지표별 공단 간 차이의 유의성을 검정하였다. 발생량감축률 지표는 자원순환 지속가능성에 있어서 공단별로 차이가 통계적으로 유의하지 않고 지정폐기물 감량에 있어 공통적인 노력을 보여주고 있다.

재활용량/소각·매립량 지표를 보면 광양과 온산공단은 지정폐기물의 재활용률이 낮거나 소각·매립량이 많아서 자원순환 관점의 정책방침에 역행하는 것으로 나타나고 있다. 광양, 온산공단에서 자원순환 관점의 지속가능성을 제고하기 위해서 재활용 확대 및 소각·매립량 저감을 위한 체계적인 노력이 요구된다고 할 수 있다.

1/소각·매립온실가스배출량 지표를 참조하면 여수, 울산, 반월공단 지역은 지정폐기물의 소각·매립량으로 인한 온실가스 발생량이 매우 큰 것으로 나타나는 바, 이는 연탄, 시멘트, 아스팔트, 레미콘의 포장재료 및 중화학단지 등 지정폐기물의 대량발생이 큰 대규모 공업단지가 갖는 특성으로 보인다. 이에 따라 이들 대규모 공단지역에서는 온실가스 저감을 통해 환경영향 지속가능성을 제고할 필요성이 있다고 판단된다.

소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표를 보면 온실가스 저감을 범국가적인 책무로 규정하고 있는 정부의 방침에 따라, 여수, 울산, 아산공단은 종합화학, 중공업 등의 업종으로 지정폐기물의 소각·매립에서 발생하는 온실가스 관리능력을 충분히 확보해야할 필요성이 있다.

발생량/이월기타보관량 지표를 보면 구미, 아산, 반월공단 등은 연탄, 시멘트 등의 포장재료 및 전자의 업종으로 공단지역의 경우에는 생산 활동으로 인해 지정폐기물 발생량이 크게 늘고 있는 바, 지정폐기물 처리능력이 낮은 것은 더 많은 미처리분의 발생으로 이어질 소지가 있어 처

리기술의 지속가능성을 제고하기 위해 재활용 및 소각·매립의 지정폐기물의 처리능력을 확장할 필요가 있음을 시사한다.

총생산액/발생량 지표를 보면 포항, 녹산, 군산공단은 철강, 기계 등의 업종으로 지정폐기물 관리의 경제적 지속가능성 수준이 상대적으로 낮은 것으로 판단된다.

공단의 10개년도, 전반기 5개년, 후반기 5개년을 지표별로 비교한 결과 발생량 감축률은 구미, 아산, 군산이 후반기 5개년 들어 악화되었다. 재활용량/소각·매립량 지표는 반월공단이 후반기 5개년에 악화되었다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표는 녹산공단은 후반기 5개년에 감소하였다. 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량 지표에서도 녹산공단이 후반기 5개년 들어 감소하여 지속가능성이 저하되고 있다. 발생량/이월기타보관량 지표에서는 포항, 창원공단이 후반기에 악화되었다. 총생산액/발생량 지표는 구미가 후반기에 들어 크게 감소하고 울산과 온산, 여수공단도 마찬가지이다. 이로서 경제적 지속가능성이 저하되고 있다.

4. 공단 간 우선순위

(표 4-6)에 지표별 공단의 순위를 도출하였다. 그 자료를 토대로 지표별 순위를 통합하여 공단 간 지속가능성 순위를 산정하려한다. 방법론은 Henry Garrett 순위를 채택하여 공단별 지표 순위에 따라 가중치를 주었다. 그 다음에 가중치를 준 지표 순위를 지표별로 합산하여 한 공단의 점수를 구한다. 다른 공단도 마찬가지로 합산하여 점수를 산정한 후에 각 공단의 점수에 따라 공단의 순위를 구하였다. Henry Garrett ranking 방법은 다음과 같다. 각 지표별로 12개의 공단이 있으므로 지표별 순위는 12위(최종순위)까지 있다. 순위에 따라 percentage position을 구한다.

percentage position을 구하는 수식은 다음과 같다.

$$percentage\ position = 100(R_i - 0.5)/N$$

R_i : 순위

N : 최종순위

위의 방법으로 1위부터 12위까지 구한 percentage position은 (표 4-12)와 같다.

표 4-12 .percentage position과 garrett 점수 산정

순위	percentage position		Garrett score
1위	$100(1-0.5)/12$	4.2	84
2위	$100(2-0.5)/12$	12.5	73
3위	$100(3-0.5)/12$	20.8	66
4위	$100(4-0.5)/12$	29.2	61
5위	$100(5-0.5)/12$	37.5	56
6위	$100(6-0.5)/12$	45.8	53
7위	$100(7-0.5)/12$	54.2	49
8위	$100(8-0.5)/12$	62.5	44
9위	$100(9-0.5)/12$	70.8	40
10위	$100(10-0.5)/12$	79.2	34
11위	$100(11-0.5)/12$	87.5	27
12위	$100(12-0.5)/12$	95.8	18

percentage position 값을 구하여 garrett 순위 변환 표 (표 4-13)을 참조하여 가장 가까운 스코어가 순위의 점수가 된다. 예를 들어 순위가 1위여서 percentage position이 4.2일 때 garrett 순위 변환 표에서 가장 가까운 percent는 3.89이므로 garrett 가중치 스코어는 84가 되어 1위의 점수는 84가 된다. percentage position으로 구한 garrett 스코어는 (표 4-12)과 같다.

표 4-13 . garrett 순위 변환 표

Percent	Score	Percent	Score	Percent	Score
0.09	99	22.32	65	83.31	31
0.20	98	23.88	64	84.56	30
0.32	97	25.48	63	85.75	29
0.45	96	27.15	62	86.89	28
0.61	95	28.86	61	87.96	27
0.78	94	30.61	60	88.97	26
0.97	93	32.42	59	89.94	25
1.18	92	34.25	58	90.83	24
1.42	91	36.15	57	91.67	23
1.68	90	38.06	56	92.45	22
1.96	89	40.01	55	93.19	21
2.28	88	41.97	54	93.86	20
2.69	87	43.97	53	94.49	19
3.01	86	45.97	52	95.08	18
3.43	85	47.98	51	95.62	17
3.89	84	50.00	50	96.11	16
4.38	83	52.02	49	96.57	15
4.92	82	54.03	48	96.99	14
5.51	81	56.03	47	97.37	13
6.14	80	58.03	46	97.72	12
6.81	79	59.99	45	98.04	11
7.55	78	61.94	44	98.32	10
8.33	77	63.85	43	98.58	9
9.17	76	65.75	42	98.82	8
10.06	75	67.48	41	99.03	7
11.03	74	69.39	40	99.22	6

(표 4-14)은 (표 4-6)을 참조하여 각 공단의 지표별 순위를 나타낸 표이다.

발생량감축률은 통계적으로 유의하게 나타나지 않았기 때문에 순위를 신뢰할 수 없어서 배제 하였다.

표 4-14 .공단별 지표별 순위

	재활용/ 소각·매립량	1/소각·매립 온실가스배 출량	소각·매립량 /소각·매립 온실가스배 출량	발생량/이월 기타보관량	총생산액/발 생량
남동	10	1	3	9	4
여수	6	11	12	1	2
울산	8	12	11	7	1
녹산	3	2	5	4	11
군산	9	3	4	5	10
창원	7	9	6	3	3
구미	1	5	9	12	5
아산	4	6	10	10	8
포항	2	8	8	6	12
반월	5	10	7	11	7
광양	12	4	2	2	9
온산	11	7	1	8	6

(표 4-14)와 (표 4-12)를 참조하여 계산하면 남동은 재활용량/소각·매립량이 10위이므로 10위 garrett점수인 34점, 1/소각·매립온실가스배출량은 1위 점수인 84점, 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량은 3위인 66점, 발생량/이월기타보관량은 9위 점수인 40점, 총생산액/발생량은 4위인 61점의 garrett 점수를 얻게 된다. 이 점수를 합산하여 지표의 개수인 5로 나누면 남동 공단의 최종점수를 얻을 수 있다. 다른 공단들도 마찬가지로 계산할 수 있다. 이렇게 얻은 최종 점수를 바탕으로 지표를 합산한 통합 순위를 구할 수 있다.

다음의 (표 4-15)에서 최종점수와 그에 따른 공단의 통합 순위를 나타냈다.

표 4-15. 공단 통합 순위

순위	공단	최종점수
1위	남동	57
2위	녹산	56.6
3위	창원	54.8
4위	광양	53
5위	군산	51.4
6위	온산	51.4
7위	여수	51
8위	구미	50.8
9위	포항	46.4
10위	아산	45.2
11위	울산	44.4
12위	반월	43

남동은 높은 값과 낮은 값이 같이 혼재되어 나타나 높은 값을 차지할 때가 더 많아 1위를 기록하고 있다. 녹산은 하나를 제외하고 중상위권이라 높은 순위를 기록하고 있다. 반월은 상위권 없이 중하위권으로 나타나 낮은 순위를 보이고 있다. 울산도 총생산액/발생량은 상위권이지만 다른 지표가 낮아서 낮은 순위로 나타난다.

V.결론

1. 결과

본 연구는 지정폐기물의 지속가능성을 평가할 수 있는 항목별 지표 체계를 개발하여 2009~2018년의 시계열 상에서 12개의 공단으로 공간적 범위를 정하여 실질적인 지정폐기물 관리의 평가를 도출하는 것을 목적으로 하여 진행하였다. 자원순환, 환경, 경제의 큰 틀 안에서 6가지 지표, 발생량감축률, 재활용량/소각·매립량, 1/소각·매립온실가스배출량, 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량, 발생량/이월기타보관량, 총생산액/발생량을 이용하여 지정폐기물의 관리의 지속가능성 여부를 판별하였다.

지표별 시계열변화 추세 분석결과 경향성이 없어서 지속가능성의 개선 여부를 파악하기 어려운 경우도 있었지만 10개년도 시계열분석에서 1/소각·매립온실가스배출량이 대체적으로 악화상태인 것으로 나타났다. 발생량/이월기타보관량이 후반부 5개년도에서 개선되는 공단이 많은 편이다. 경제적인 관점에서 대체적으로 악화되어 12개 공단의 지정폐기물 관리의 지속가능성을 향상시키기 위해서는 본 경제성지표의 개선이 필요한 것이 명백하다.

10개년도 시계열 회귀분석에서 포항공단에서 재활용량/소각·매립량이 큰 기울기를 보여 크게 개선이 되었으며 온산은 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량이 비교적 큰 기울기로 개선이 되었다. 구미와 온산이 총생산액/발생량에서 비교적 큰 기울기로 악화된 것이 나타난다. 전반부 5개년도 분석결과, 포항에서 재활용량/소각·매립량이 상대적으로 크게 개선되었다. 구미는 재활용량/소각·매립량이 기울기가 악화되었다. 광양공

단이 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량에서 상대적으로 크게 개선되었다. 5개년도 후반 분석결과, 아산공단의 총생산액/발생량과 1/소각·매립온실가스배출량, 녹산의 소각·매립량/소각·매립온실가스배출량, 울산의 총생산액/발생량 지표가 상대적으로 크게 악화된 것으로 나타난다.

공단의 지표 간 분석 결과를 유형별로 정리하면 발생량감축률 지표가 높은 공단은 광양, 군산, 구미로 철강과 전자계열이었다. 발생량/이월기타보관량 지표와 재활용량/소각·매립량 지표가 낮은 공단은 남동과 온산 공단으로 화학, 중공업 계열이었다. 총생산액/발생량 지표가 높고 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 낮은 공단은 여수, 울산으로 중화학 계열이었다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높고 총생산액/발생량 지표가 낮은 공단은 녹산, 아산으로 중공업, 전자계열이었다. 1/소각·매립온실가스배출량 지표가 높고 총생산액/발생량 지표가 높은 공단은 창원과 구미로 기계, 전자 계열이었다.

6가지 지표를 활용하여 지정폐기물의 관리가 자원순환의 관점에서 바람직한지를 판단하고 현 자원순환 목표를 반영하여 재활용증가가 필요한 공단들을 파악할 수 있었다. 또한 온실가스가 주는 부정적인 환경영향을 겪는 공단들을 파악할 수 있었다. 온실가스 관리능력이 충분히 확보되어 있는 공단과 그렇지 못한 공단들을 파악할 수 있었고 재활용과 소각·매립 등의 지정폐기물 처리능력을 확보해야 될 필요성이 있는 공단들을 파악할 수 있었다. 또한 경제의 측면에서 개선이 필요한 공단들을 분별할 수 있었다. 공단 최종 랭킹을 도출한 결과 남동, 녹산, 창원이 공단 중에서 지속가능성이 높고 아산, 울산, 반월이 지속가능성이 낮은 것으로 나타난다.

모든 결과를 종합하면 지속가능성의 측면에서 여수와 울산이 지정폐기물 관리의 특성이 매우 흡사한 것으로 나타난다. 이를 제외하면 지정폐

기물 관리의 지속가능성이 전반적으로 공단별로 다양하게 나타났다. 이는 공단의 지정폐기물 관리와 관련된 규제는 발생량억제 준수 의무제도 뿐으로 이를 위한 공단의 노력은 공통적인 양상이었지만 나머지 부분에서는 공단의 관리의 개선 주도 여부에 따라 공단의 지정폐기물 관리의 지속가능성은 제각각으로 나타나고 있는 것으로 파악된다. 지정폐기물 관리 개선 목표에 입주업체의 참여율 정도에 따라 공단마다 지정폐기물 관리의 지속가능성이 달라질 것이다. 공단에 초점을 두고 지정폐기물 관리 규제를 확장하는 정책이 필요한 상황으로 판단된다. 이로서 궁극적으로 지속가능성을 높이기 위한 실마리를 찾을 수 있을 것으로 기대한다.

2. 향후연구방향과 한계점

본 연구의 한계점은 6가지 지표에 한정하여 대표하는 부분만 보기 때문에 총체적인 부분을 다각적으로 볼 수 없어서 관리 중에서 개선이 필요한 부분은 도출할 수 있지만 좀 더 다양한 관리의 측면을 파악할 수 없었다. 이는 지표수가 적어서 나타나는 한계이다. 또한 12개 공단의 지표의 추세가 나타나게 된 경위에 대해서는 자료가 절대적으로 부족하여 평가하지 못하였다. 광역시나 지자체와는 달리 공단의 변화에 대한 자료는 매우 부족하여 해당 추세를 설명하기 어려웠다. 향후 공단을 집중적으로 연구하여 어떤 변화가 어떤 추세의 원인이었는지 탐구하는 것도 의미가 있을 것이다. 매립 온실가스 산정에서 아산화질소와 이산화탄소를 제외한 것도 한계점이다. 또한 자료 부족으로 제일 단순한 산정 모델을 사용했기 때문에 현황 반영문제도 한계가 있다. 향후 지표를 추가하여 다각적인 관점에서 지속가능한 관리를 평가하는 방향의 연구가 진행되면 의미가 있을 것이다.

■ 참고문헌

[학회지]

간순영,홍지형, 이수빈, 한영지(2008), “폐기물 소각부문 온실가스 배출량 현황 및 전망”, 「국립환경과학원」.

강영렬(2016), “폐기물의 재활용 기준 및 세부용도 확대방안 연구”, 「국립환경과학원」.

강은영,유인상, 김준범(2017), “EU·국내 폐기물 분류체계 분석 및 연계방안 연구” 「통계청」.

김정수(2020), “온실가스 배출량 감축노력” 「통계청」.

김성우(2017), “국내 제조업종에서의 지정폐기물 발생량 예측에 관한 연구” 「한국폐기물자원순환학회지」, Vol.35(1), p.55.

김세규(2011), “자원순환형사회 구축의 일환으로서의 생산자책임재활용제도에 관한 소고”, 「한국비교공법학회」, 501-529p.

김기호(2010), “폐기물 관리 과거와 현재” - 「대구 경북연구원」.

김현선(2007), “매립지의 온실가스 배출량 산정 시나리오에 따른 온실가스 배출량 비교”, 「한국대기환경학회」, Vol.23. No.3, 344-352p.

노진경,양지선(2018), “건축물 시공과 해체과정의 폐기물 감량을 중심으로 한 폐기물관리의 지속가능성 평가 지표 설정”, 「한국환경정책학회 학술대회논문집」, Vol.2019(2), pp.50-51.

노화준(2001), “1990년대 한국 정책평가연구의 동향 분석”, 「한국정책분석평가학회, Vol11. No.1, 89-123(35쪽).

명수정(2010), “녹색생활 지표 개발 및 활용방안” 「한국환경정책평가연구원」, Vol.2010. No3, 1-177p.

박래, 차근호(2004), “시스템 다이내믹스를 이용한 폐기물관리시스템의 지속

가능성 분석모델에 대한 연구”, 「한국시스템다이내믹스」, Vol. 5. No.2. 89-123p.

박상우(2019), "SDGs시대의 폐기물관리 : 자원순환 평가지표의 미래 방향", 「한국폐기물자원순환학회」, Vol.36No.4[2019], 321-334(14pages).

박상우(2018), "국가별 지속가능한 폐기물관리 평가 사례" 「환경부」.

박선아,소윤미(2019), "지속가능한 폐기물관리를 위한 서울시 자치구 지표 적용", 「한국환경정책학회 학술대회논문집」, Vol.2019(2), pp.59-60.

박진규(2018), "Wasteaware' 기준지표를 이용한 부탄 팀푸시 폐기물관리 시스템 평가", 「한국폐기물자원순환학회」, 155-155(1pages).

박홍석(2013), "산업단지 온실가스 저감 방안", 「에너지 경제 연구원」.

변준석(2019), "지표작성방법론", 「통계청」.

송동수(2010), "폐기물 관련 법제의 변화와 전망", 「강원대학교 비교 법학연구소」.

이다은(2018), "제1차 자원순환 기본계획의 의의와 추진 동향", 「환경전략연구소」.

임혜숙(2015) "자원순환분야 지속가능발전목표(SDGs) 이행 기반 마련을 위한 기초연구", 「한국환경환경정책연구원 기초보고서」, 1-78p.

정희성,안형기(2008), "자원 순환 사회 거버넌스의 구축 폐기물 관리정책을 중심으로", 「한국정책과학학회보」, Vol.12 No.3, 79-97p.

정희성(2013), "지역기반 폐기물 자원순환 네트워크 기본모형 구상: 서울시 노원구의 생활계 폐기물을 중심으로", 「한국환경정책학회」, 137-162p.

주현수(2010), "온실가스 감축을 위한 폐기물 관리방안 연구", 「한국환경정책학회연구 보고서」.

최지나(2018), "이산화탄소 전환 (CCU) 기술의 온실가스 감축 효과 분석 방법", 「한국기후변화학회지」, Vol.13. No.2, 154-165p.

[학위논문]

김경환(2018), 산업집적지역의 활성화가 지역내 총생산(GRDP)에 미치는 영향 연구- 21개 주요 국가산업단지를 중심으로 -, 서울대학교 행정대학원 석사 논문.

김지윤(2007), 지속가능경영 지표와 재무성과 지표간의 연관관계 연구 : 아시아 은행산업을 중심으로, 이화여자대학교 경영대학원 석사논문.

권연정(2000), 대학교의 지속가능한 발전을 위한 지표의 연구, 연세대학교 대학원 석사 논문.

나종민(2010), 녹색성장시대의 관광개발 지표 연구, 경희대학교 일반대학원 석사 논문.

박정은(2014), 도시재생을 위한 사회적기업의 지속가능성 요인, 서울대학교 대학원 석사논문.

변점출(2009), 지방지속가능발전지표 개발 및 적용에 관한 연구, 영남대학교 대학원 박사논문.

유민수(2007), 지속가능한 도시개발지표 설정에 관한 연구 - 환경친화지표를 중심으로 -, 한양대학교 도시대학원 석사 논문.

윤정목(2000), 발생량 분석을 통한 산업단지의 지정폐기물 관리 방안 연구 - 한양대학교 대학원 석사 논문.

이슬(2019), 한국 경제지표와 영화 및 대중 음악 장르 추이 영향관계 분석, 중앙대학교 예술 대학원 석사 논문.

이승희(2002), 평생교육산업의 경제적 규모 평가를 위한 지표 개발 연구 - 유아교육 공공직업훈련 대학평생교육을 중심으로, 연세대학교 대학원 석사 논문.

이유경(2015), 도시의 지속가능성이 토지 가격에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사논문.

이효정(2011), 지표를 이용한 지자체 생활폐기물 관리의 지속가능성 연도별 변화 평가, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

조수준(2002), 사업장 지정폐기물 효율적 관리 방안에 관한 연구, 대전대학교 대학원 석사학위 논문.

한아란(2016), 환경갈등과 환경영향평가에 관한 연구, 서울대학교 행정대학원 석사논문.

홍수정(2005), 대학교의 지속가능발전지표 개발에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사학위 논문.

황형준(2018), 지속가능한 에너지법의 이론과 관리, 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

[기타]

국토연구원(2016), "경제 발전 경험 모듈화 사업: 한국의 폐기물 자원관리 및 활용정책", 기획재정부.

국가지속가능발전위원회(2008), "국가 지속가능 발전 지표 평가 보고서".

기획재정부,환경부(2014), "국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵".

수도권 매립지 관리 공사(2005), "폐기물처리시설의 지속가능경영체제 도입에 관한 연구 - 매립 및 소각시설을 중심으로".

시티산업(2010), "지정폐기물 처리".

올바로시스템(2010), "지정폐기물 종류".

자원순환정책과(2017.06.08), "매립·소각 부담금, 자원순환 성과관리 시행", 환경부.

통계청(2004), "한국의 사회지표체계 개편 연구".

통계청(2000), "한국의 사회지표".

폐기물 협회(2017), "지정폐기물 발생량 추이".

환경공단 (2018) 지정폐기물 발생 현황.

환경부(2020), "산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률".

환경부(2018), "순환경제를 위한 10년 청사진, 자원순환기본계획 수립".

환경부(2015), "EU의 유해폐기물 정의와 분류에 관한 설명서".

환경부, 지정폐기물 관련 관리 정보, <http://me.go.kr>.

환경부, 폐기물 법령 관리 정보, <http://me.go.kr>.

환경부, 환경영향평가 정보지원시스템(EIASS), <https://www.eiass.go.kr>.

한국산업단지공단, www.kicox.or.kr.

환경부, 자원순환정보시스템, <https://www.recycling-info.or.kr>.

[국외문헌]

Andre Gomes Guimar~aes a, Paula Vaz-Fernandes a, b, M. Rosario Ramos a, c, Ana Paula Martinho(2018), "Co-processing of hazardous waste: the perception of workers regarding sustainability and health issues in a brazilian cement company", Journal of CLEANER PRODUCTION, Vol.186, pp.313-324.

Antonopoulos, I.-S(2018), "Ranking municipal solid waste treatment alternatives considering sustainability criteria using the analytical hierarchical process tool", RESOURCES, CONSERVATION AND RECYCLING, Vol(86), Pages 149-159.

ASEF(2014), "Sustatainable Development Goals and indicators for a Small Planet" Part II:Measuring Sustainability, ASIA-EUROPE ENVIRONMENT FORUM(Env Forum).

Atiq Uz Zaman(2014), "Identification of key assessment indicators of the

zero waste management systems”, ECOLOGICAL INDICATORS, Volume 36, January 2014, Pages 682–693.

Antanasijević, Davor(2013), “The forecasting of municipal waste generation using artificial neural networks and sustainability indicators”, SUSTAINABILITY SCIENCE, Vol.8(1), pp.37–46.

Adisa Azapagic(2004), “Developing a framework for sustainable development indicators for mining and mineral industry”, Journal of CLEANER PRODUCTION, Vol.12(6), pp.639–662.

A.J. Granados and P.J. Peterson(1999), “Hazardous waste indicators for national decision makers”, JOURNAL OF ENVIRONMENT MANAGEMENT, Vol.55(4), pp.249–263.

Agenda 21(1993), Ottawa, ON : IDRC Books.

C. Block. J. Van Caneghem. A. Van Brecht(2015), “Incineration of Hazardous Waste: A Sustainable Process?”, WASTE AND BIOMASS VALORIZATION, Vol.6(2), pp.137–145.

Christa D(2012), “Enhancing U.S. hazardous waste accounting through economic modeling”, ECOLOGICAL ECONOMICS, Vol.83, pp.79–89.

C. Visvanathan(2012), “Waste Management Indicators–Priority and Challenges” Asia Resource Circulation Policy Research Workshop.

Dolores Elizabeth Turcott Cervantes a, Ana López Martínez a, Miguel Cuartas Hernández b, Amaya Lobo García de Cortázar a(2018), "Using indicators as a tool to evaluate municipal solid waste management: A critical review" WASTE MANAGEMENT, Volume 80, Pages 51-63.

Daniela Căilean (Gavrilescu), Carmen Teodosiu(2016), "An assessment of the Romanian solid waste management system based on sustainable development indicators", SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION, Volume 8, Pages 45-56.

David Watson(2013), "Proposals for targets and indicators for waste prevention in four waste streams".

Donella H. Meadows(1972), "The Limits to Growth", White River Junction, Vt : Chelsea Green Publishing Company.

Elvira Olay-Romero a, Dolores Elizabeth Turcott-Cervantes b, María del Consuelo Hernández-Berriel a, Amaya Lobo-García de Cortázar b, Miguel Cuartas-Hernández c, Isaías de la Rosa-Gómez a(2020), "Technical indicators to improve municipal solid waste management in developing countries: A case in Mexico", WASTE MANAGEMENT, Volume 107, Pages 201-210.

Edgars Kavals, Kaspars Klavenieks, Julija Gusca, Dagnija Blumberga(2018), "Indicator analysis of integrated municipal waste

management system. Case study of Latvia”, ENERGY PROCEDIA, Volume 147, ages 227-234.

European Commission(2012), "Life cycle indicators for resources, products and waste", JRC TECHNICAL REPORTS.

E. Elimelech*, O. Ayalon, B. Flicstein(2011), "Hazardous waste management and weight-based indicators – The case of Haifa Metropolis", Department of Natural Resources & Environmental Management, Faculty of Social Sciences, University of Haifa, Mt. Carmel, Haifa 31905, Israel.

European Commission Directorate-General Environment(2012), "Preparing a Waste Prevention Programme : Guidance document", BioIntelligence Service S.A.S, Paris.

Ewald Rametsteiner(2011), "Sustainability indicator development – science or political negotiation?", ELSEVIER SCIENCE, Vol 11. 61-70p.

Goran Ristić(2005), "Basic indicators of integrated solid waste management", WORKING AND LIVING ENVIRONMENTAL PROTECTION, vol. 2, pp. 383-392.

Hongping Yuan(2013), "Key indicators for assessing the effectiveness of waste management in construction projects", ECOLOGICAL

INDICATORS, Vol.24, pp.476–484.

IPCC(2000), Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC(2006), IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories

Joana Bastos, Rita Garcia and Fausto Freire(2018), “INDICATORS FOR WASTE PREVENTION AND MANAGEMENT measuring circularity”.

J. den Boer(2007), “LCA-IWM: A decision support tool for sustainability assessment of waste management systems”, WASTE MANAGEMENT, Vol.27(8), pp.1032–1045.

Kelly Danielly da Silva Alcântara Fratta 1, Juliana Tófono de Campos Leite Toneli 2, Graziella Colato Antonio2(2019), “Diagnosis of the management of solid urban waste of the municipalities of ABC Paulista of Brasil through the application of sustainability indicators”, WASTE MANAGEMENT,, Volume 85, Pages 11–17.

Kadleck(2010), “Model shows link between GDP, waste”, WASTE & RECYCLING NEWS, Vol.16(6), p1.

Klundert, Arnold & Anschutz, Justine(2001), “Integrated Sustainable Waste Management –the concept”, Nieuwehaven: WASTE.

Luciana da Silva a, Pedro Domingos Marques Prietto a, Eduardo Pavan Korf b, (2019), "Sustainability indicators for urban solid waste management in large and medium-sized worldwide cities" JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, Volume 237, Article 117802.

Lucia Rigamonti(2016), "Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability", ECOLOGICAL INDICATORS, Vol.60, pp.1-7.

Mahdi Ikhlayel(2017), "Indicators for establishing and assessing waste management systems in developing countries: A holistic approach to sustainability and business opportunities", BUSINESS STRATEGY & DEVELOPMENT, Vol.1(1), pp.31-42.

Michel Xocaira Paes a, b, Gerson Araujo de Medeiros b, Sandro Donnini Mancini b, Ana Paula Bortoleto c, Jose A. Puppim de Oliveira a, d, e, Luiz Alexandre Kulay f (2020), "Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment", JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, Volume 254, Article 119848.

Mustafa Ali a, b, Yong Geng b, Dawn Robins a, Dave Cooper a, Will Roberts a, Joost Vogtländer c(2019), "Improvement of waste management practices in a fast expanding sub-megacity in Pakistan, on the basis of

qualitative and quantitative indicators”, WASTE MANAGEMENT, Volume 85, Pages 253-263.

Mohammad Hossein Ordouei(2017), "New composite sustainability indices for Cradle-to-Cradle process design: Case study on thinner recovery from waste paint in autoindustries", JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, Vol.166, p.253(10).

Menikpura, Snm(2012), "Framework for life cycle sustainability assessment of municipal solid waste management systems with an application to a case study in Thailand", SUSTAINABILITY SCIENCE, Vol.30(7), pp.708-719.

Mai (2011), www.agenda21-treffpunkt.de/archiv/ag21dok/index.htm.

Mark Jacob Goedkoop(2001), The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, 3rd ed.

Ole Dall, Carsten Lassen and Erik Hansen, Cowi A/S(2003), "waste indicators", Danish Environmental Protection Agency.

Peterson, Peter ; Granados, Åsa(2002) "Towards sets of hazardous waste indicators" ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH, Vol.9(3), pp.204-214.

Rafael Mattos Deus a, Fernando Daniel Mele b, Barbara Stolte Bezerra a, Rosane Aparecida Gomes Battistelle a(2019), "A municipal solid waste indicator for environmental impact: Assessment and identification of best management practices", JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, Volume 242, Article 118433.

Rodrigo Moreira(2018), "Solid waste management index for Brazilian Higher Education institutions", WASTE MANAGEMENT, Vol.80, pp.292-298.

Rory Bratcher (2017), "Recycling Vs. Landfills or Incinerators", Sciencing.

Roos M den Uyl(2015), "Evaluating governance for sustainable development-Insights from experience in the Dutch fen landscape", JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, Vol.163, pp.186-203.

Rajesh Kumar Singh(2009), "An overview of sustainability assessment methodologies", ECOLOGICAL INDICATORS, Volume 15, Issue 1, pp 281-299.

Rajesh Kumar Singh(2007), "Development of composite sustainability performance index for steel industry", ECOLOGICAL INDICATORS, Vol.7(3), pp.565-588.

RCRA “Defining Hazardous Waste: Listed, Characteristic and Mixed Radiological Wastes”

Sofie Huysman a, Jonas De Schaepmeester a, Kim Ragaert b, Jo Dewulf a, Steven De Meester a, c(2017), “Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste”, Resources, CONSERVATION AND RECYCLING, Volume 120, Pages 46–54.

Sacha Kagan(2011), 「Art and Sustainability. Connecting Patterns for a Culture of Complexity」, Bielefeld: TRANSCRIPT VERLAG.

Shan-shan Chung(2003), "Evaluating sustainability in waste management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong", Resources, CONSERVATION & RECYCLING, Vol.37(2), pp.119–145.

Sigrid Kusch(2017), The Link between e-Waste and GDP—New Insights from Data from the Pan-European Region, Resources, Vol.6(2), p15.

S. Monprapussorn(2009), "Multi Criterion Decision Analysis and Geographic Information framework for hazardous waste transport sustainability", JOURNAL OF APPLIED SCIENCES, Vol.9(2), pp.268–277.

Tat Dat Buia, Feng Ming Tsaia, Ming-Lang Tsengb,c,*, MohD Helmi

Alid(2020), "Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method", Resources, CONSERVATION & RECYCLING.

T Sabbas a(2003), "Management of municipal solid waste incineration residues", WASTE MANAGEMENT, Vol.23(1), pp61–88.

Ulrich Grober(2013), "Deep roots: A conceptual history of 'sustainable development' "(Nachhaltigkeit), Social Science Research Center Berlin.

UNSD(2015), "List of Indicator Proposals".

Valeria Ibáñez-Forés a, María D. Bovea a, Claudia Coutinho-Nóbrega b, Hozana R. de Medeiros b(2017), "Assessing the social performance of municipal solid waste management systems in developing countries: Proposal of indicators and a case study", ECOLOGICAL INDICATORS, Volume 98, Pages 164–178.

Vassilis J.(2015), "Household Hazardous waste management: A review", JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, Vol.150, pp.310–321.

Von Schirnding, Y & World Health Organization.(2002), "Health in sustainable development planning: THE ROLE OF INDICATORS".

Wilson, David C(2015), "Wasteaware benchmark indicators for integrated

sustainable waste management in cities.", WASTE MANAGEMENT, 35 : 329-342.

Yih Tng Chong(2016), "A life cycle based sustainability indicator framework for waste-to-energy systems and a proposed metric of sustainability", RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, Vol.56, pp.797-809.

Zaneta Stasiskiene(2011), "Assessing the sustainability of the Lithuanian Hazardous waste management system", JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY, pp.268-283.

Abstract

Sustainability Evaluation of
Specified Waste Management of
Industrial Complexes using A
6-Indicator System

You Sun Kwon

Department of Environmental Planning

Graduate School of Environmental Studies

Seoul National University

Because of huge increase in waste production, it is crucial to evaluate our waste management system for sustainable development. Especially, hazardous wastes demand a special management system for their toxicity, despite the lack of public awareness. Moreover, there has been very little research conducted on specified wastes, which are in a special category of hazardous wastes. So, in this study, I have examined whether the current specified waste management is sustainable by utilizing the merits of indicator assessment. Specifically, I established 6 indicators for sustainability to conduct a study on specified waste management in 12 industrial

complexes in the country, from 2009 to 2018: An indicator showing whether generation rate of specified waste is repressed (Resource Circulation Indicator 1); an indicator showing whether recycling activity enhancement is underway (Resource Circulation Indicator 2); an indicator to assess the level of environmental impact created by the greenhouse gas emission (Environmental Impact Indicator 1); an indicator to distinguish industrial complexes that are procuring greenhouse gas emission management ability (Environmental Impact Indicator 2); an indicator to decide whether the waste treatment capability, comprised of recycling, incineration and landfill capacities, supports the sustainability (Environmental Impact Indicator 3); and an indicator reflecting economical perspective (Economic Indicator1).

It was challenging to assess improvement in sustainability due to the lack of correlation between the time series analysis and the 6 indicators, but a 10-year base regression analysis showed that Environmental Indicator 1 tended to deteriorate. For the latter half of the 10-year base, Environmental Indicator 3 generally improved in industrial complexes. Also, it was obvious that, in order to support the sustainability of waste management practices, industrial complexes had to be economically sustainable.

I conducted an indicator relationship analysis on each industrial complex by the type of industry it is in. Gwangyang, Gunsan and Gumi complexes, which are steel and electronic industry complexes, were high in terms of Resource Circulation Indicator 1. Namdong and Onsan, which are petrochemical and heavy industries complexes, were

low in Environmental Impact Indicator 3 and Resource Circulation Indicator 2. Yeosu and Ulsan, which are heavy and chemicals industries, were high in Economic Indicator 1 and low in Environmental Impact Indicator 1. Noksan, Gumi and Asan, electronic and heavy industries complexes, were high in Environmental Impact Indicator 1 and low in Economic Indicator 1. Changwon and Gumi complexes, electronic and machinery complexes, were high in Environmental Impact Indicator 1 and Economic Indicator 1.

I also evaluated the relationship between each industrial complex and each sustainability level indicator. Gwangyang, Onsan complexes were low in sustainability level in terms of resource circulation perspective. The greenhouse gas emission from incineration and landfill of specified wastes is negative for Yeosu, Ulsan and Banweoul complexes. Complexes lacking greenhouse gas emission management are Yeosu, Ulsan and Asan. In terms of management capability, Gumi, Asan, Banweoul complexes need improvement. In terms of economic perspective, Noksan, Gunsan and Pohang complexes are in need of improvement. It is imperative for the industries to establish sustainability improvement goals and policies in order to finally address the sustainability issues related to specified waste management.

Keywords: sustainable specified waste management assessment, specified waste management assessment indicator, sustainable waste indicator, specified waste indicator

Student number: 2016-24817